

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ЛУГАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

100 - летию посвящается

В Е С Т Н И К

**ЛУГАНСКОГО
НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 6 (24)
2019**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Луганск 2019

ВЕСТНИК

ЛУГАНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

№ 6 (24) 2019

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ОСНОВАН В 2015 ГОДУ
ВХОДИТ В БАЗУ
РИНЦ

ОСНОВАТЕЛЬ

Луганский национальный университет
имени Владимира Даля

Журнал зарегистрирован в Министерстве
информации, печати и массовых коммуникаций
Серия № ПИ 000108 от 08 июня 2017 г.

Свидетельство о государственной регистрации
Издателя, изготовителя и распространителя
средства массовой информации

МИ-СРГ ИД 000003 от 20 ноября 2015г.

VESTNIK

LUGANSK VLADIMIR DAHL
NATIONAL UNIVERSITY

№ 6 (24) 2019

THE SCIENTIFIC JOURNAL
WAS FOUNDED IN 2015
INCLUDED INTO THE BASE OF
RISC

Founder

Lugansk Vladimir Dahl
National University

Journal is registered by the Ministry of Information,
Publishing and Mass Communications
Series № PI 000108 of June, 08 2017

State Registration Certificate of Publisher,
Producer and Distributor of means of mass
information

MI-SRG ID 000003 of November, 20 2015

Журнал включен в перечень научных изданий ВАК ЛНР (Приказ № 8-ОД от 8.01.19) в котором могут публиковаться результаты диссертационных работ на соискание ученой степени доктора и кандидата физико-математических, химических, технических, экономических, исторических, философских, филологических, юридических, педагогических, психологических, социологических наук.

ISSN 2522-4905

Главная редакционная коллегия :

Рябичев В.Д., докт. техн. наук, (главный редактор),
Гутько Ю.И., докт. техн. наук, (зам. главн. редактора),
Витренко В.А., докт. техн. наук (зам. главн. редактора),
Авершин А.А., канд. техн. наук,
Андрійчук Н.Д., докт. техн. наук,
Атоян А.И., докт. филос. наук,
Белых А.С., докт. пед. наук,
Бельдюгин В.А. канд. ист. наук,
Болдырев К.А., докт. экон. наук,
Будиков Л.Я., докт. техн. наук,
Губачева Л.А., докт. техн. наук,
Дейнека И.Г., докт. техн. наук,
Дрозд Г.Я., докт. техн. наук,
Ерошин С.С., докт. техн. наук,
Замота Т.Н., докт. техн. наук,
Исаев В.Д., докт. филос. наук,
Клименко А.С., докт. филол. наук,
Коваленко А.А., канд. техн. наук, проф,
Кривоколыско С.Г., докт. хим. наук,
Крохмалева Е.Г., канд. пед. наук,
Корсунов К.А., докт. техн. наук,
Куликов Ю.А., докт. техн. наук,
Лазор В.В., докт. юридич. наук,
Лазор Л.И., докт. юридич. наук,
Лустенко А.Ю., докт. филос. наук,

Ляпин В.П., докт. биол. наук,
Максимова Т.С., докт. экон. наук,
Максимов В.В., докт. экон. наук,
Мечетный Ю.Н., докт. мед. наук,
Мирошников В.В., докт. техн. наук,
Мортиков В.В., докт. экон. наук,
Нечаев Г.И., докт. техн. наук,
Панайотов К.К., канд. техн. наук,
Родионов А.В., докт. экон. наук,
Рябичева Л.А., докт. техн. наук,
Санжаров С.Н., докт. ист. наук,
Свиридова Н.Д., докт. экон. наук,
Семин Д.А., докт. техн. наук,
Скляр П.П., докт. психол. наук,
Слащев В.А., канд. техн. наук, проф,
Старченко В.Н., докт. техн. наук,
Тарарычкин И.А., докт. техн. наук,
Тисунова В.Н., докт. экон. наук,
Утутов Н.Л., докт. техн. наук,
Фесенко Ю.П., докт. филол. наук,
Харьковский Р.Г. канд. ист. наук,
Шамшина И.И., докт. юридич. наук,
Шелюто В.М., докт. филос. наук,
Яковенко В.В., докт. техн. наук

Ответственный за выпуск: Губачева Л.А.

Рекомендовано в печать Ученым советом Луганского национального университета имени Владимира Даля (Протокол № 9 от 31.05.2019 г.)

Материалы номера печатаются на языке оригинала.

© Луганский национальный университет имени Владимира Даля, 2019
© Lugansk Vladimir Dahl National University, 2019

Дорогие коллеги!



Луганский национальный университет имени Владимира Даля является крупным научно-образовательным и научно-производственным центром, расположенным в центре Европы. Наука в университете развивается в соответствии с направлениями научных исследований, основными из которых являются: ресурсосберегающие технологии в машиностроении и на транспорте; проектирование приборов и средств автоматизации; наноматериалы и технологии; новые методы получения и обработки материалов; транспорт; экология, экономика транспорта, организация перевозок и безопасность движения; логистика и транспорт в «Индустрии 4.0», компьютерные науки и IT-технологии, трибология и надежность, конструкции узлов перспективных железнодорожных транспортных средств; экологически чистые химические технологии и др.

Высокий уровень научных исследований подтвержден получением огромного количества патентов на изобретения.

В университете действует 9 факультетов, 7 институтов, институт последипломного образования и дистанционного управления, магистратура, 106 кафедр, более 40 научно-исследовательских лабораторий и инженерных центров, научная библиотека, издательство с типографией и др.

В настоящее время ученые университета проводят совместные научные исследования в соответствии с международными договорами. В этом сборнике научных трудов «Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля» содержатся результаты международной исследовательской работы, полученной в последнее время. Я надеюсь, что вы с ними познакомитесь, и это будет способствовать долгосрочному и взаимовыгодному сотрудничеству.

В.Д. Рябичев - ректор университета, профессор, доктор технических наук

Dear colleagues!

The Vladimir Dahl Luhansk National University is a great research and educational- scientific- industrial centre situated in the centre of Europe. The science in university develops according to directions of scientific researches, the basic of which are: resource-saving technologies in mechanical engineering and on transport; development of progressive powder and composite technologies; development of elements of space engineering; designing of devices and means of automation; nano-materials and technologies, transport logistic; industrial and a municipal transportation, logistical systems of transport of industrial and city infrastructure, urban logistics, computer science and technology, tribology and reliability, designs of the units of perspective rail vehicles; ecologically net (non-polluting) chemical technologies, etc.

The high level of scientific researches is confirmed with reception by obtaining a huge number patents for inventions.

The university has 9 faculties, 7 institutes, institute of post-diploma education and remote management, magistracy, 106 departments, more than 40 research laboratories and the engineering centres, the scientific library, publishing house with a printing house, etc.

At present the scientists of the university carry out joint scientific investigations in accordance with international treaties. This collection of scientific papers “Vesnik of the Vladimir Dahl Luhansk National University” contain the results of international research work received recently. I hope that you will get to know them and it will promote to long-term and mutually beneficial cooperation.

V. Ryabichev, rector of the University, Professor, Doctor of Technical Sciences

СО Д Е Р Ж А Н И Е

<p>ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ОРЕБРЕНИЯ ТРУБ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ <i>Ажипто А.Г., Куликов Ю.А.</i> -----</p>	10
<p>БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ EXONUM <i>Бакибаев Т.И., Абешев К.Ш., Нарбаева С.М.</i> -----</p>	14
<p>УЛУЧШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕЛОСИПЕДИСТОВ ПОСРЕДСТВОМ УЛУЧШЕНИЯ ВЕЛОСИПЕДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ <i>Бойко А.Д., Маврин В.Г., Шубенкова К.А.</i> -----</p>	19
<p>СМАРТ-ВЕЛОСИПЕД КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В СМАРТ-ГОРОДАХ <i>Бойко А.Д., Цыбунов Э.Н.</i> -----</p>	28
<p>СИСТЕМА БЕЗДРЕНАЖНОГО ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ <i>Брянцев М.А., Данилейченко А.А., Доценко Д.М.</i> -----</p>	32
<p>КОНЦЕПЦИЯ МЕТОДА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ТОРМОЗНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ <i>Будиков Л.Я.</i> -----</p>	35
<p>ПРОБЛЕМАТИКА РЕМОНТА КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК ГТД С ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ТИТАНА <i>Быкадоров В.В., Данилейченко А.А., Любченко Д.И.</i> -----</p>	40
<p>РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА ГРУЗОВЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ <i>Верительник Е.А., Панайотов К.К., Таращанский М.Т.</i> -----</p>	44
<p>АНАЛИЗ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНА НА ВСЕЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ ПРОФИЛЯ ПУТИ С РАЗЛИЧНЫМИ УКЛОНАМИ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ <i>Гордиенко А.А., Джалилов Х.Х.</i> -----</p>	49
<p>РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЕ В ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ <i>Губачева Л.А., Андреев А.А., Масленников Е.А.</i> -----</p>	57
<p>ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩЕЙ РАБОТЫ ТРАНСПОРТА НА ГЕНЕРАТОРНОМ ГАЗЕ <i>Губачева Л.А., Андреев А.А., Янголь Ю.Р.</i> -----</p>	62
<p>ИССЛЕДОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОЕЗДА <i>Губачева Л.А., Андреев А.А., Лотарев И.С.</i> -----</p>	70
<p>О КАЧЕНИИ КОЛЕС НА СКОРОСТНЫХ УЧАСТКАХ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ <i>Джаббаров Ш.Б.</i> -----</p>	79
<p>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВОЛНОВОГО ОБМЕННОКА ДАВЛЕНИЙ <i>Доценко Д.М., Тырловой С.И., Карлов А.А.</i> -----</p>	84
<p>СИСТЕМА ФИРМЕННОГО СЕРВИСА КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ АВТОПРОИЗВОДИТЕЛЯ <i>Забински К., Макарова И.В., Шубенкова К.А.</i> -----</p>	89

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЁСНЫХ ПАР <i>Иванов И.А., Кононов Д.П., Урушев С.В.</i> -----	96
ТОРМОЗА С РЕГУЛИРУЕМЫМ ТОРМОЗНЫМ МОМЕНТОМ – КОНСТРУКЦИИ, МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ТОРМОЗНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК <i>Криничный П.Ю.</i> -----	102
ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ НАГНЕТАТЕЛЬНОГО ТИПА ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН <i>Куликов Ю.А., Ажипто А.Г., Колесников С.А.</i> -----	106
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТЕЙ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА <i>Леонова С.А.</i> -----	111
СЕРВИС ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ <i>Макарова И.В., Мухаметдинов Э.М., Габсалихова Л.М.</i> -----	116
МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ <i>Макарова И.В., Мухаметдинов Э.М., Габсалихова Л.М., Капитонов А.А.</i> -----	120
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДА ПРИ РАСШИРЕНИИ ПАРКА ГАЗОМОТОРНОЙ КОММУНАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ <i>Макарова И.В., Мухаметдинов Э.М., Габсалихова Л.М., Садыгова Г.Р.</i> -----	131
ПРЕИМУЩЕСТВА, ПЕРСПЕКТИВЫ И РИСКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОНОМНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ <i>Макарова И., Пашкевич А., Шубенкова К.</i> -----	137
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОБУСОВ В РОССИИ <i>Макарова И.В., Садыгова Г.Р.</i> -----	147
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ <i>Макарова И.В., Буйвол П.А., Якупова Г.А., Мухаметдинов Э.М.</i> -----	152
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ И СЕРВИСНОЙ СИСТЕМ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПОВ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТИ В ИНДУСТРИИ 4.0 <i>Макарова И.В., Буйвол П.А.</i> -----	159
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ДИЛЕРСКО-СЕРВИСНОЙ СЕТИ <i>Макарова И.В., Габсалихова Л.М., Садыгова Г.Р.</i> -----	163
К ВОПРОСУ ВЫБОРА УЗЛОВ АВТОМОБИЛЯ, ПОДЛЕЖАЩИХ МОДЕРНИЗАЦИИ, С УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЯ <i>Малахова В.В., Малахов О.В.</i> -----	171
АНАЛИЗ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ С ПОМОЩЬЮ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ И МКЭ <i>Мирошников А.А.</i> -----	176
ОБ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМАХ ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ С ЦЕЛЬЮ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ <i>Невишупа Р.А., Кастейоте М.</i> -----	181
ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД <i>Нечаев Г.И., Соколовский А.Я., Соколовская Е.А.</i> -----	187

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ РАМ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ <i>Рябичев В.Д., Губачева Л.А., Андреев А.А.</i> -----	194
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НЕСУЩЕГО СЛОЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД <i>Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И.</i> -----	203
СОЗДАНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ВОЗВРАЩАЮЩИХ СИЛ И МОМЕНТОВ В ОПОРАХ ТЕЛЕЖКИ ТИПА 2ТЭ116 <i>Слащёв В. А., Додонов В. И., Черных В. В.</i> -----	212
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ДВС <i>Сметана С.А., Сидорченко А.В.</i> -----	217
ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ ДВС <i>Сметана С.А., Сидорченко А.В., Колбас Н.В.</i> -----	222
ФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН <i>Старченко В.Н., Тенишев В.Е.</i> -----	226
ТЕХНОЛОГИЯ И УПЛОТНЕНИЕ МНОГОНАПРАВЛЕННЫХ СТРУКТУР ФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ <i>Старченко В.Н., Тенишев В.Е., Теренин П.О.</i> -----	230
УВЕЛИЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВКИ «КОЛЕСО ТУРБИНЫ» <i>Стихнин Е.В.</i> -----	234
РАБОТА СИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРА В РЕЖИМЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПУСКЕ ДИЗЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА <i>Тасанг Э.Х., Чальцев М.Н., Игнатьев О.Л., Ямщикова Л.Ю.</i> -----	239
К ОПТИМИЗАЦИИ ЦИКЛОВОЙ ПОДАЧИ ТОПЛИВА ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ <i>Тырловой С.И., Доценко Д.М.</i> -----	244
ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДАТЧИКА РАСХОДА ТОПЛИВА <i>Ивченко Т.Б., Чернобаева Ю.Ю.</i> -----	248
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЧЕРПЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КАНАТНОГО ГРЕЙФЕРА <i>Шевченко Н.А., Чальцев М.Н.</i> -----	255
РОЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ В ИНДУСТРИИ 4.0 <i>Шубенкова К.А., Макарова И.В.</i> -----	260
АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАМЕРА РАСХОДА ВОЗДУХА С ПРИВЕДЕНИЕМ ПОКАЗАНИЙ К СТАНДАРТНЫМ УСЛОВИЯМ <i>Щукин А.Ю., Щукин О.Ю., Васильев И.П.</i> -----	265
ПОВЫШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ РАЦИОНАЛИЗАЦИЕЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ <i>Куценко А.В., Семин Ю.Г., Кружилин И.В.</i> -----	269
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА <i>Шевченко Д.Ю.</i> -----	275
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СМЕННО – СУТОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ <i>Семин Ю.Г., Ломачук Д.А.</i> -----	281

CONTENTS

CHOICE OF PIPE FINE PARAMETERS HEAT EXCHANGE DEVICES FOR VISCOUS LIQUIDS <i>Azhippo A.G., Kulikov Y.A.</i> -----	10
BLOCKCHAIN FOR VEHICLES BASED ON EXONUM PLATFORM <i>Bakibayev T.I., Abeshev K.Sh., Narbayeva S.M.</i> -----	14
ENSURING THE CYCLING SAFETY BY IMPROVING BICYCLE INFRASTRUCTURE <i>Boyko A., Mavrin V., Shubenkova K.</i> -----	19
SMART-BIKE AS ONE OF THE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF INDIVIDUAL TRANSPORT IN SMART-CITIES <i>Boyko A., Tsybunov E.</i> -----	28
SYSTEM OF WASTE-FREE STORAGE OF LIQUEFIED NATURAL GAS OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF LOCOMOTIVE DIESEL <i>Bryantsev M.A., Danileychenko A.A., Dotsenko D.M.</i> -----	32
THE CONCEPT OF THE METHOD OF CALCULATING THE OPTIMUM THE BRAKING PERFORMANCE OF CRANES <i>Budikov L.Ya.</i> -----	35
PROBLEMATICS OF REPAIR OF GTE COMPRESSOR BLADES WITH PROTECTIVE COATINGS BASED ON TITANIUM NITRIDE <i>Bykadorov V.V., Danileychenko A.A., Lyubchenko D.I.</i> -----	40
THE RESULTS OF APPLYING THE METHODOLOGY FOR DETERMINING SPARE PARTS FOR TRUCK TRANSPORT COMPANIES <i>Veritelnik E.A., Panayotov K.K., Tarashchanskii M.T.</i> -----	44
ANALYSIS OF THE WAGON MOTION SPEED ON THE WHOLE PROTECTION OF THE PROFILE OF THE WAY WITH DIFFERENT TIES OF THE SORTING SLIDGE <i>Gordienko A.A., Jalilov Kh.H.</i> -----	49
RESOURCE SAVING IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE <i>Gubacheva L.A., Andreev A.A., Maslennikov E.A.</i> -----	57
EFFICIENCY OF THE RESOURCE-SAVING WORK OF TRANSPORT ON THE GENERATION GAS <i>Gubacheva L.A., Andreev A.A., Yangol Yu.R.</i> -----	62
INVESTIGATION AND ORGANIZATION OF NO-FAILURE OPERATION OF REPAIR-WRECKING TRAIN <i>Gubacheva L.A., Andreev A.A., Lotarev I.S.</i> -----	70
ON WHEEL ROLLING AT HIGH-SPEED SITES OF SORTING SLIDES <i>Djabborov Sh.B.</i> -----	79
IMPROVING THE DYNAMIC QUALITIES OF A TRANSPORT DIESEL ENGINE REGULATION OF THE WAVE PRESSURE EXCHANGER <i>Dotsenko D.M., Tyrlovoy S.I., Karlov A.A.</i> -----	84
THE BRANDED SERVICE SYSTEM AS A WAY TO IMPROVE THE COMPETITIVENESS OF THE AUTOMAKER <i>Žabiński K., Makarova I.V., Shubenkova K.A.</i> -----	89
IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE RECOVERY PROFILE OF ROLL SURFACE OF WHEEL PAIRS <i>Ivanov I.A., Kononov D.P., Urushev S.V.</i> -----	96

BRAKE WITH ADJUSTABLE BRAKING TORQUE – THE DESIGN, THE METHOD OF CALCULATING THE OPTIMUM BRAKING PERFORMANCE <i>Krinichny P. Yu.</i> -----	102
RESEARCHES OF ENERGY PROCESSES IN THE COOLING-WAITING DEVICES OF TRANSFER TYPE TRANSFER TYPE MACHINES <i>Kulykov Yu.A., Azhippo A.G., Kolesnikov S.A.</i> -----	106
MATHEMATICAL MODELING OF SYSTEMS OF URBAN TRANSPORT <i>Leonova S.A.</i> -----	111
SERVICE OF ENERGY EFFICIENT VEHICLES <i>Makarova I.V., Moukhametdinov E.M., Gabsalikhova L.M.</i> -----	116
METHOD OF TECHNICAL SERVICE PLANNING AND VEHICLE REPAIR <i>Makarova I.V., Mukhametdinov E.M., Gabsalikhova L.M., Kapitonov A.A.</i> -----	120
WAYS TO IMPROVE THE SAFETY AND SUSTAINABILITY OF THE CITY'S TRANSPORT SYSTEM WHILE EXPANDING THE PARK OF NATURAL GAS MUNICIPAL VEHICLES <i>Makarova I. V., Mukhametdinov E. M., Gabsalikhova L.M.</i> -----	131
ADVANTAGES, PERSPECTIVES AND RISKS TO USE AUTONOMOUS VEHICLES <i>Makarova I., Pashkevich A., Shubenkova K.</i> -----	137
PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF ELECTRIC BUSES IN RUSSIA <i>Makarova I.V., Sadygova G.R.</i> -----	147
DEVELOPMENT OF ROAD SAFETY MANAGEMENT TECHNIQUE <i>Makarova I.V., Buyvol P.A., Yakupova G.A., Mukhametdinov E.M.</i> -----	152
INTERACTION OF INDUSTRIAL AND SERVICE SYSTEMS IN THE IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES OF CUSTOMER-ORIENTATION IN INDUSTRY 4.0 <i>Makarova I.V., Buyvol P.A.</i> -----	159
INCREASE IN EFFECTIVE MANAGEMENT OF THE ENTERPRISES OF DEALER AND SERVICE NETWORK <i>Makarova I.V., Gabsalikhova L.M., Sadygova G.R.</i> -----	163
TO THE QUESTION OF THE CHOICE OF CAR COMPONENTS TO BE UPGRADED, TAKING INTO ACCOUNT THE CRITERION OF INCREASING THE RELIABILITY OF THE CAR <i>Malakhova V.V., Malakhov O.V.</i> -----	171
ANALYSIS OF CALCULATION OF THE INTENSE DEFORMED CONDITION OF METAL CONSTRUCTION BY MEANS OF TENSOMETRIC LABORATORY AND FINITE ELEMENT METHOD <i>Miroshnikov A.A.</i> -----	176
TOPICAL PROBLEMS RELATED TO APPLICABILITY OF PHOTOCATALYTIC MATERIALS TO PAVEMENTS IN ORDER TO REDUCE AIR CONTAMINATION FROM EXHAUST GASES <i>Nevshupa R., Castellote M.</i> -----	181
TRANSPORT SYSTEM OF MINE WATER TREATMENT <i>Nechayev G.I., Sokolovsky A.Y., Sokolovskaya E.A.</i> -----	187
INCREASE OF THE FATIGUE ENDURANCE OF THE FREIGHT WAGONS BOGIE FRAMES <i>Ryabichev V.D., Gubacheva L.A., Andreev A.A.</i> -----	194
INCREASE THE RELIABILITY OF THE BEARING LAYER OF ROAD CLOTHES <i>Slobodyanyuk M.E., Nechaev G.I.</i> -----	203

CREATION OF THE FIRST RETURN FORCES AND MOMENTS IN BOGIE SUPPORTS TYPE 2ТЭ116 <i>Slashev V.A., Dodonov V.I., Chernykh V.V.</i> -----	212
TECHNOLOGICAL IMPLEMENTATION OF THE PROCESS OF DIAGNOSING THE MECHANISMS OF ICE <i>Smetana S.A., Sidorchenko A.V.</i> -----	217
JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF DIAGNOSTIC MODEL OF TECHNICAL CONDITION OF ICE MECHANISMS <i>Smetana S.A., Sidorchenko A.V., Kolbas N.V.</i> -----	222
FRICITIONAL MATERIALS BASED ON CARBON-CARBON COMPOSITES FOR BRAKING DEVICES OF TRANSPORT MACHINES <i>Starchenko V.N., Tenisheff V.E.</i> -----	226
TECHNOLOGY AND MULTI-DIRECTED SEAL STRUCTURES OF FRICTIONAL MATERIAL TO IMPROVE EFFICIENCY OF THE BRAKING PROCESS <i>Starchenko V.N., Tenisheff V.E., Terenin P.O.</i> -----	230
INCREASING THE DURABILITY OF TECHNOLOGICAL TOOLING FOR RECEIVING THE WHEEL OF TURBINE CASTING <i>Stikhnin E.V.</i> -----	234
OPERATION OF THE SYNCHRONOUS TRACTION GENERATOR IN THE MODE OF THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR AT LAUNCH OF THE DIESEL OF LOCOMOTIVE <i>Tasang E.H., Chalcev M.N., Ignatyev O.L., Yamshchikova L.Yu.</i> -----	239
FOR OPTIMIZATION OF CYCLIC SUPPLY OF FUEL OF TRANSPORT DIESELS DEPENDING ON CLIMATIC CONDITIONS OF OPERATION <i>Tyrlovoy S.I., Dotsenko D.M.</i> -----	244
CONDUCTING EXPERIMENTAL RESEARCH OF FUEL FLOW SENSOR <i>Ivchenko T.B., Chernobaeva Yu.Yu.</i> -----	248
THE METHODOLOGY OF CALCULATION OF THE LADLING CAPACITY OF ROPE GRAB BUCKET <i>Shevchenko N.A., Chaltsev M.N.</i> -----	255
THE ROLE OF TRANSPORT LOGISTICS IN INDUSTRY 4.0 <i>Shubenkova K.A., Makarova I.V.</i> -----	260
AUTOMATION OF MEASUREMENT OF THE CONSUMPTION OF AIR WITH REDUCTION OF INDICATIONS TO STANDARD CONDITIONS <i>Schukin A.Yu., A., Schukin O.Yu., Vasyliiev I.P.</i> -----	265
RAISE OF FUEL PROFITABILITY OF VEHICLES BY RATIONALIZATION OF OPERATIONAL MODES OF THE PROPULSIVE PLANT <i>Kushchenko A.V., Semin J.G., Kruzhilin I.V.</i> -----	269
IMPROVEMENT OF THE CONSTRUCTION OF GAS GENERATOR INSTALLATIONS OF AUTOMOBILE TRANSPORT <i>Shevchenko D.Yu.</i> -----	275
IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF REPLACED - DAILY PLANNING ON THE RAILWAY <i>Semin Y.G., Lomachuk D.A.</i> -----	281

УДК 621.187

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ОРЕБРЕНИЯ ТРУБ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Ажиппо А.Г., Куликов Ю.А.

CHOICE OF PIPE FINE PARAMETERS HEAT EXCHANGE DEVICES FOR VISCOUS LIQUIDS

Azhippo A.G., Kulikov Y.A

Приводятся результаты исследований, направленных на определение рациональных параметров оребрения труб малого диаметра теплообменных аппаратов для вязких жидкостей. Выбраны значения параметров трапецевидного оребрения, изготовленного методом накатки, при которых эффективность теплоотдачи достигает значений $E_p=0,96...0,98$.

Ключевые слова: оребренная труба, диаметр оребрения, шаг оребрения, средняя толщина ребра, эффективность, критерий, интервал варьирования.

Введение. Процесс течения вязкой жидкости при поперечном омывании пучка оребренных труб сопровождается конвективным теплообменом различной степени эффективности, поскольку теплоотдача от ребер и неоребренной поверхности различна. Ожидаемая эффективность теплоотдачи оребренной поверхности, изготовленной по технологии ВНИИМетМаша (метод накатки трапецевидных ребер на гладкой трубчатой заготовке) находится в диапазоне $0,96...0,98$ [1]. Известные методики расчета [2, 3] не дают возможности достаточно точно определить

теплоотдачу данного вида поверхности и, таким образом, расчетным путем оптимизировать ее параметры. Указанные обстоятельства обуславливают необходимость применения для этой цели метода математического планирования.

Анализ последних исследований и публикаций. Важнейшими факторами, определяющими эффективность теплоотдачи оребренной поверхности с низкими ребрами, являются диаметр оребрения d_{op} , толщина основания ребра δ_1 и шаг оребрения t_p . Предшествующие исследования показали, что для создания компактных теплообменных аппаратов для вязких жидкостей (топливоподогревателей и маслоохладителей) указанные параметры должны находиться в следующих диапазонах: $d_{op}=10,22...13,8$ мм; $\delta_1=0,5...0,6$ мм; $t_p=1,6...2$ мм [4].

В литературе [5] указывается на влияние средней толщины ребра δ_{cp} на эффективность теплоотдачи. На рис.1 приведены расчетные зависимости, оценивающие влияние высоты ребра и средней толщины ребра на эффективность теплоотдачи.

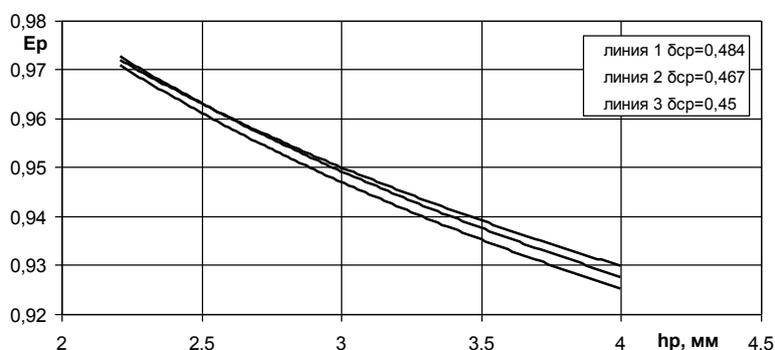


Рис. 1. Эффективность теплоотдачи оребренной поверхности в зависимости от параметров оребрения

Как видно из рис.1 что при уменьшении высоты ребра h_p от 4 мм до 2,2 мм эффективность теплоотдачи E_p возрастает то 0,93 до 0,97. Известно

[6] что с увеличением толщины ребра увеличивается коэффициент теплоотдачи, что подтверждается характером зависимостей, представленных выше.

Цели исследования. Определение на основе экспериментальных данных рациональных значений выше указанных геометрических параметров оребрения трубы, при которых эффективность теплоотдачи оребренной поверхности достигает максимальных значений.

Материалы и результаты исследования. Вычислительная работа по определению рациональных геометрических параметров оребрения существенно упрощается [8], если применить математическое планирование эксперимента, т.е. нормировать факторы Ф планирования. При этом исследуемая область изменения параметра разбивается на k участков (принимая k=2, т.е. будем осуществлять трехфакторное трехуровневое планирование) и введём относительные безразмерные факторы влияния x, равные

$$x_i = \frac{\Phi_i - \Phi_n}{\Delta\Phi_i},$$

где $\Delta\Phi_i = (\Phi_{i\max} - \Phi_{i\min})/2$ – интервал варьирования;

$\Phi_{i\max}, \Phi_{i\min}$ – соответственно максимальное и минимальное значения фактора.

При этом начальным (нулевым) значением варьируемого параметра, как обычно, выбирается его средняя величина

$$\Phi_n = (\Phi_{i\max} + \Phi_{i\min})/2.$$

Для аппроксимации неизвестных зависимостей удобно пользоваться полиномами. В данном случае неизвестную зависимость принимаем в виде уравнения регрессии - многочлена второй степени

$$Ep = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_{11} \cdot x_1^2 + a_{22} \cdot x_2^2 + a_{33} \cdot x_3^2 + a_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + a_{23} \cdot x_2 \cdot x_3,$$

где x_1 - диаметр оребрения d_{op} ;

x_2 - шаг оребрения t_p ;

x_3 - средняя толщина ребра δ_{cp} .

При этом выбор опытных точек основан на ортогональном планировании равноотстоящих узлов. Данная особенность планирования позволяет заранее вычислить векторы, состоящие из целых чисел, при помощи которых можно легко найти коэффициенты регрессии.

Согласно планам, приведенным в табл. 1, фиксировались три уровня каждого из факторов:

- $x_{i\min}=-1$, соответствующий нижнему пределу варьирования i –того независимого параметра;

- $x_{in}=0$ – середине интервала варьирования;

- $x_{imax}=+1$ – верхнему пределу.

Значения неизвестных коэффициентов уравнения регрессии a_{ij} получены по формуле [7]

$$a_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^{15} F_n b_{ijn}}{C_{ij}},$$

где значения F_n приведены в табл. 1, а b_{ijn} и C_{ij} приведены в табл. 2.

Кроме плана экспериментов представленного ниже в табл. 2 приведены также результаты испытаний по определению эффективности ребра.

Проверка коэффициентов регрессии на статистическую значимость проводилась сравнением их абсолютных величин с соответствующими доверительными интервалами, при этом коэффициент a_{ij} является статистически значимым с заданной доверительной вероятностью P при выполнении условия [7, 8,]

$$|a_{ij}| \geq \Delta a_{ij}.$$

Для определения доверительного интервала использовалось известное соотношение

$$\Delta a_{ij} = \pm t_{\alpha N} \cdot S \{a_{ij}\},$$

где $t_{\alpha N}$ - критерий Стьюдента, табулированный в зависимости от степени риска α и числа проведенных опытов N;

$S \{a_{ij}\} = S \{y\} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N \sum_{u=1}^n (y_{ku} - \bar{y}_k)^2}{N \cdot (n-1)}}$ - среднеквадратическая ошибка при определении коэффициента регрессии a_{ij} (ошибка опытов);

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента и его результаты для пучков оребренных труб

Уровни варьирования	d_{op} , мм	t_p , мм	δ_{cp} , мм	Экспериментальная функция отклика	Результаты расчета
Нулевой уровень	12	1,8	0,467	Y _n	F _n
Интервал варьирования	13,8	2	0,484		
Верхний уровень	10,2	1,6	0,45		
Нижний уровень					
№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃		
1	+1	+1	+1	0,942	0,939267
2	+1	+1	-1	0,939	0,943367
3	+1	-1	+1	0,931	0,933367
4	+1	-1	-1	0,935	0,935467
5	-1	+1	+1	0,978	0,977667
6	-1	+1	-1	0,983	0,980767
7	-1	-1	+1	0,979	0,974767
8	-1	-1	-1	0,973	0,975867
9	0	0	0	0,959	0,960067
10	+1	0	0	0,941	0,936533
11	-1	0	0	0,972	0,975933
12	0	+1	0	0,964	0,964933
13	0	-1	0	0,961	0,959533
14	0	0	+1	0,953	0,957933
15	0	0	-1	0,966	0,960533

Таблица 2
Данные для вычисления коэффициентов уравнения регрессии

№ опыта	a_0	a_1	a_2	a_3	a_{11}	a_{22}	a_{33}	a_{12}	a_{13}	a_{23}
	c_{ij}									
	45	10	10	10	18	18	18	8	8	8
b_{ijn}										
1	-2	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2	-2	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1
3	-2	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1
4	-2	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1
5	-2	-1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	+1
6	-2	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1
7	-2	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1
8	-2	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1
9	13	0	-1	0	-2	-2	-2	0	0	0
10	8	1	0	0	+5	-4	-4	0	0	0
11	8	-1	0	0	+5	-4	-4	0	0	0
12	8	0	0	0	-4	5	-4	0	0	0
13	8	0	+1	0	-4	5	-4	0	0	0
14	8	0	-1	+1	-4	-4	5	0	0	0
15	8	0	0	-1	-4	-4	5	0	0	0

i – текущий индекс эксперимента в k -ом опыте при числе экспериментов $n \geq 2$ и числе опытов N ;

y_{ki} – значение определяемого параметра в i -ом эксперименте k -го опыта;

\bar{y}_k – среднее значение определяемого параметра в k -ом опыте.

Анализ зависимости, оценивающей эффективность теплоотдачи оребренной поверхности, представленной в виде уравнения регрессии (1) показал, что при изменении диаметра оребрения в наибольшей степени эффективность теплоотдачи оребренной поверхности зависит от шага оребрения (рис. 2, 3 и 4):

$$E_p = 0,96007 - 0,0197 \cdot x_1 + 0,0027 \cdot x_2 - 0,0013 \cdot x_3 - 0,00383 \cdot x_1^2 + 0,00217 \cdot x_2^2 - 0,00087 \cdot x_3^2 + 0,00075 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,00025 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,0005 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (1)$$

После проверки коэффициентов уравнения регрессии на значимость [9, 10] окончательно получено следующее уравнение

$$E_p = 0,96007 - 0,0197 \cdot x_1 + 0,0027 \cdot x_2 - 0,0013 \cdot x_3 - 0,00383 \cdot x_1^2 + 0,00217 \cdot x_2^2. \quad (2)$$

Установлено также, что уменьшение диаметра оребрения, увеличение толщины ребра и увеличения шага оребрения приводит к увеличению эффективности теплоотдачи оребренной поверхности.

Величина эффективности теплоотдачи оребренной поверхности при изменении указанных

выше факторов влияния в исследованных диапазонах возрастала от 0,9334 до 0,9807 (см. рис. 2, 3 и 4).

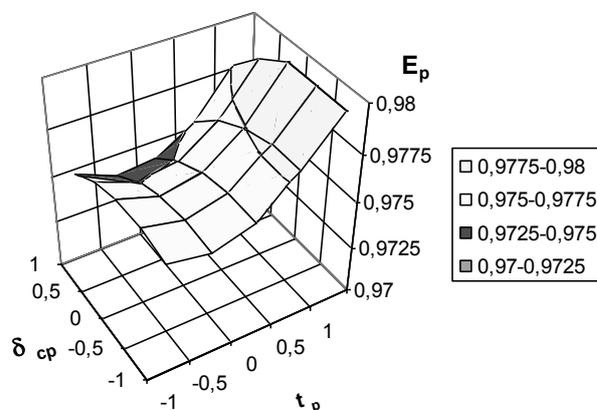


Рис. 2. Зависимость эффективности теплоотдачи оребренной поверхности для диаметра $d_{op} = 10,22$ мм от шага оребрения и средней толщины ребра

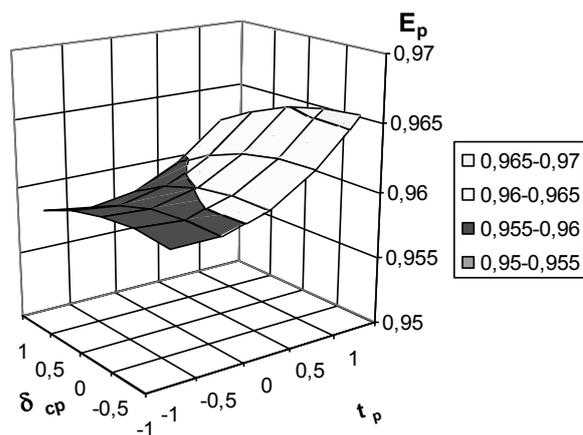


Рис. 3. Зависимость эффективности теплоотдачи оребренной поверхности для диаметра $d_{op} = 12$ мм от шага оребрения и средней толщины ребра

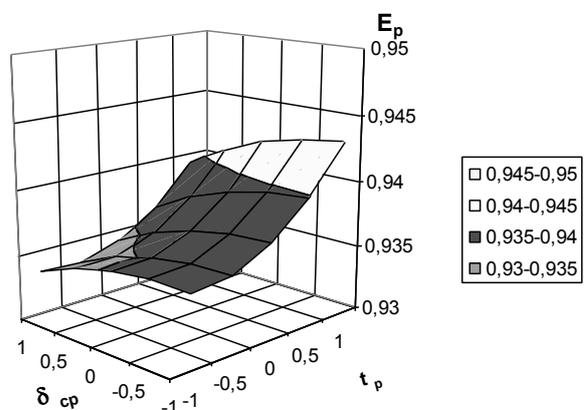


Рис. 4. Зависимость эффективности теплоотдачи оребренной поверхности для диаметра $d_{op} = 13,8$ мм от шага оребрения и средней толщины ребра

Значение эффективности теплоотдачи оребренной поверхности $E_p = 0,9807$ достигается при

следующих значениях факторов влияния: $d_{op}=10,22$ мм, $t_p=2$ мм и $\delta_{cp}=0,467$ мм.

Максимальная погрешность определения эффективности оребренной поверхности не превышала $\pm 0,6\%$ при доверительной вероятности $P=0,95$.

Таким образом, полученное уравнение регрессии адекватно опытным данным.

Выводы: Анализ проведенных исследований позволил выбрать рациональные геометрические параметры оребрения: высоту ребра (диаметр оребрения); среднюю толщину ребра и шаг оребрения. Получена зависимость в виде уравнения регрессии для численной оценки влияния параметров оребрения на эффективность теплоотдачи.

Л и т е р а т у р а

1. Куликов, Ю.А. Компактные теплообменники из пучков труб с винтовым оребрением для транспортных машин / Ю. А. Куликов, А. Г. Ажиппо, А. В. Гончаров, В.В. Быкадоров, Т. А. Оробцов. – Луганск: Елтон - 2, 2011. – 201с.

2. Кузнецов Е. Ф. Маслоохладители из труб с низкими спиральными ребрами / Е. Ф. Кузнецов, Р. И. Мин, И. Е. Шахнович // Энергомашиностроение. – 1965. – № 11.

3. Охладители водомасляные : методы расчета [Проект руководящего технического материала] / ЦНИДИ. – Ленинград: ЦНИДИ, 1981. – 102 с.

4. Куликов Ю. А. Выбор рациональных параметров оребренной трубы для теплообменных аппаратов вязких жидкостей ДВС транспортных машин / Ю. А. Куликов [и др.] // Вісник Національного транспортного університету. – Київ, 2012. № 25. – С. 99 – 102.

5. Михеев, М.А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Изд. 2-е, стереотип. – Москва: Энергия, 1977. – 342 с.

6. Куликов, Ю. А. Системы охлаждения силовых установок тепловозов / Ю. А. Куликов. – Москва: Машиностроение, 1988. – 280 с.

7. Крутов, В.И. Основы научных исследований /В. И. Крутов, И.М. Грушко, В. В. Попов, А. Я. Савельев, Л. Н. Сумароков; ред. В.И. Крутова. – Москва: "Высшая школа", 1989. – 400 с.

8. Планирование эксперимента в задачах автомобильного транспорта : учебное пособие / МАДИ ; ред. Ю.В. Завадский. - Москва: МАДИ, 1978. - 156 с.

R e f e r e n c e s

1. Kulikov, Yu.A.. Kompaktnyye teploobmenniki iz puchkov trub s vintovym orebreniyem dlya transportnykh mashin / YU. A. Kulikov, A. G. Azhippo, A. V. Goncharov, V.V. Bykadorov, T. A. Orobtsov. – Lugansk: Yelton - 2, 2011. – 201 p.

2. Kuznetsov Ye. F. Maslookhladiteli iz trub s nizkimi spiral'nymi rebrami / Ye. F. Kuznetsov, R. I. Min, I. Ye. Shakhnovich // Energomashino-stroyeniye. – 1965. – № 11.

3. Okhladiteli vodomasyanyye : metody rascheta [Proyekt rukovodyashchego tekhnicheskogo materiala] / TSNIDI. – Leningrad: TSNIDI, 1981. – 102 p.

4. Kulikov Yu. A. Vybora ratsional'nykh parametrov orebrennoy truby dlya teploobmennyykh apparatov vyazkikh zhidkostey DVS transportnykh mashin / YU. A. Kulikov [i dr.] // Visnik Natsional'nogo transportnogo universitetu. – Kiyv, 2012. № 25. – P. 99 – 102.

5. Mikheyev, M.A. Osnovy teploperedachi / M. A. Mikheyev, I. M. Mikheyeva. – Izd. 2-ye, stereotip. – Moskva: Energiya, 1977. – 342 p.

6. Kulikov, Yu. A. Sistemy okhlazhdeniya silovykh ustanovok teplovozzov / YU. A. Kulikov. – Moskva: Mashinostroyeniye, 1988. – 280 p.

7. Krutov, V.I. Osnovy nauchnykh issledovaniy /V. I. Krutov, I.M. Grushko, V. V. Popov, A. YA. Savel'yev, L. N. Sumarokov; red. V.I. Krutova. – Moskva: "Vysshaya shkola", 1989. – 400 p.

8. Planirovaniye eksperimenta v zadachakh avtomobil'nogo transporta : uchebnoye posobiye / MADI ; red. YU.V. Zavadskiy. - Moskva: MADI, 1978. - 156 p.

Azhippo A.G., Kulikov Y.A

CHOICE OF PIPE FINE PARAMETERS HEAT EXCHANGE DEVICES FOR VISCOUS LIQUIDS

Happen to the results of the studies directed on determination rational parameter rib tubes of the small diameter heat exchanger device for viscous liquids. They Are Chose importances parameter trapezoid rib made by wear down method, under which efficiency heatexchanger reaches importance $Er=0,96...0,98$.

Keywords: rib tube, rib diameter, step rib, average thickness rib, efficiency, criterion, interval of variation.

Ажиппо Александр Генрихович, старший преподаватель кафедры «Промышленного и городского транспорта», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: aazhippo@mail.ru

Azhippo Aleksandr, senior lecturer of the « Industrial and urban transport » Department of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: aazhippo@mail.ru

Куликов Юрий Андреевич, д.т.н., проф. кафедры «ДВС», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: kafedraDVS@yandex.ru

Kulikov Yury, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «ICE» Department of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: kafedraDVS@yandex.ru

Рецензент: Семин Дмитрий Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Гидрогазодинамики», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 31.03.2019 года

УДК 656.11

БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ EXONUM

Бакибаев Т.И., Абешев К.Ш., Нарбаева С.М.

BLOCKCHAIN FOR VEHICLES BASED ON EXONUM PLATFORM

Bakibayev T.I., Abeshev K.Sh., Narbayeva S.M

В данной работе мы предлагаем систему отслеживания действий автомобилей с помощью системы блокчейн на базе платформы Exonum. Такая система может помочь в принятии решений автономными автомобилями и в расследованиях преступлений и нарушений правил дорожного движения.

В статье описаны основные тренды в области интеллектуализации транспортных систем и мобильности. Описана технология блокчейн и ее возможности в повышении кибербезопасности через создание безопасной и надёжной системы отправки параметров текущего состояния каждого автомобиля посредством соседних. Предложенная система послужит важным шагом на пути развития системы управления движением подключенных и автономных транспортных средств

Ключевые слова: Безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, методы, блокчейн, Exonum.

Введение. Интеллектуальная автомобильная технология развивается очень быстро, и последние достижения предполагают, что автономная навигация автомобиля будет возможна в ближайшем будущем. На современных перекрестках светофоры и стоп-сигналы помогают водителям безопасно преодолевать перекрестки на своем транспортном средстве. Однако, будут ли иметь смысл в будущем для автомобилей с бортовыми компьютерами "за рулем", механизмы управления пересечением, которые были разработаны с учётом современных человеческих водителей? Учитывая преимущества, которые свойственны для интеллектуальных роботов-водителей – более точный контроль, лучшие датчики и меньшее время реакции – по нашему мнению, автомобильные поездки в будущем могут быть не только безопаснее и проще, но и намного эффективнее.

В связи с этим, мы полагаем, что абсолютно все транспортные средства будут иметь полноценный бортовой компьютер с возможностью установки безопасных приложений с доступом к

навигации и другим датчикам в режиме чтения. Поэтому реализация блокчейн решений будет вполне доступной без дополнительных аппаратных модификаций [1].

Целью данной работы является реализация отслеживания действий автомобилей с помощью модифицированной платформы блокчейн, а именно, безопасной и надёжной системы отправки параметров текущего состояния каждого автомобиля посредством соседних. В нашей системе транспортные средства подтверждают сообщения соседних автомобилей, находящихся в радиусе 100 - 150 метров. Сообщения подписываются отправителями и каждым соседним автомобилем, оснащённым такой системой.

Тренды в области интеллектуализации транспортных систем.

Росту мобильности населения в настоящее время существенно содействует служба, предоставляющая в реальном масштабе времени информацию о дорожной ситуации и оптимальных маршрутах поездки (Real-time Traffic and Travel Information (RTTI)). Эту информацию (все чаще в сочетании с услугами спутниковой навигации) сейчас предлагают как государственные, так и частные источники. В более долгосрочной перспективе, как ожидается, раскроют весь свой потенциал системы, устроенные по принципу сотрудничества между участниками движения и элементами инфраструктуры, к числу которых относятся системы, предусматривающие связь и обмен информацией между транспортными средствами V2V (vehicle-to-vehicle), между транспортным средством и инфраструктурой V2I (vehicle-to-infrastructure) и между разными элементами инфраструктуры I2I (infrastructure-to-infrastructure). При необходимости эти системы будут дополняться системой определения местоположения и времени Global Navigation Satellite System (GNSS).

Одно из основных направлений ИТС, которое активно продвигается последние 15 лет, -

реализация концепции интеллектуального автомобиля. Работает международная программа «Транспортные средства повышенной безопасности». Уже первые опыты использования бортовых интеллектуальных систем показали, что они способны уменьшить число ДТП на 40 процентов, а число ДТП со смертельным исходом — на 50 процентов. Переход от создания систем помощи водителю к разработке полуавтономных и беспилотных транспортных средств является мировым трендом и объясняется желанием разработчиков обеспечить устойчивость и безопасность транспортной системы. Вместе с тем, следует понимать, что появление новых технических и технологических решений сопряжено с возникновением новых проблем, для решения которых могут понадобиться новые методы и средства. Так, появление автомобилей нового типа с принципиально новыми системами управления может вызвать проблемы в области безопасности и взаимодействия с другими участниками движения. Необходимо выявить возможные риски, прогнозировать вероятность их возникновения, определить возможные последствия. Кроме того, должны быть разработаны способы предотвращения рискованных ситуаций и снижения тяжести последствий в случае возникновения. В этих условиях возрастает необходимость поиска решений в области кибербезопасности, которые исключили бы или, по крайней мере, свели к минимуму возможность постороннего вмешательства в систему управления как транспортным средством, так и системой в целом.

Технология блокчейн с точки зрения применимости в транспортных системах. Рассмотрим технологию блокчейн с точки зрения возможности применения для решения поставленной проблемы. Блокчейн — это технология надёжного распределённого хранения записей обо всех, когда-либо совершенных биткойн транзакциях. Он представляет собой цепочку блоков данных, объём которой постоянно растёт, по мере добавления майнерами новых блоков с записями самых последних транзакций, то есть, такое добавление происходит каждые 10 минут. Блоки записываются в блокчейн в линейном последовательно-хронологическом порядке. На каждом полном узле, то есть компьютере, подключенном к сети биткойна с помощью клиента, выполняющего проверку и передачу транзакций, хранится копия блокчейна, которая автоматически загружается, когда майнер присоединяется к биткойн-сети. В реестре сохраняется полная информация обо всех адресах и балансах, начиная с генезис-блока, то есть самого первого блока транзакций, до самого последнего добавленного блока.

Одна из моделей познания современного мира основывается на парадигмах вычислений. Новая парадигма возникает примерно каждое десятилетие.

Сначала появились мейнфреймы — большой универсальный высоко производительный отказоустойчивый компьютер со значительным объёмом оперативной и внешней памяти, используемый для интенсивной обработки данных, как правило, крупными компаниями и государственными организациями, затем персональные компьютеры (ПК), а следом за этим, нашу жизнь принципиально изменил интернет. Мобильные и социальные сети стали следующей (четвертой) парадигмой. Парадигмой для нынешнего десятилетия может стать связанный мир вычислений (connected world of computing), основанный на криптографии блокчейна. Не исключено, что именно блокчейн-технологии предстоит стать верхним экономическим слоем органично связанного мира разнообразных вычислительных устройств, в числе которых — носимые вычислительные устройства, сенсоры «интернета вещей» — концепция вычислительной сети физических объектов («вещей»), оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой. Организация таких сетей рассматривается как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, с тем, чтобы частично исключить участие человека: смартфоны, планшеты, ноутбуки, цифровые устройства самофиксации (например, Fitbit — лидер рынка фитнес-гаджетов, являющихся частью более широкой темы, так называемого «мобильного здоровья»), умные дома, умные автомобили и умный город. Но, реализуемая средствами блокчейна экономика, поддерживает не просто движение денег, а перенос информации и эффективное размещение ресурсов, которые эти деньги обеспечивают в масштабах экономики отдельных людей и целых компаний. Обладая революционным потенциалом, равным потенциалу интернета, блокчейн-технология будет разворачиваться и внедряться намного быстрее, благодаря повсеместной доступности интернета и мобильной связи.

Функциональность социальных и мобильных сетей четвертой парадигмы стала настолько естественной, что пользователи теперь ожидают ее от всех технологий. Так, мобильные приложения поддерживают функционал, который раньше реализовывался через веб-приложения: отметка «нравится», комментирование, включение в друзья, участие в форумах. Точно так же, блокчейн-технология, относящаяся к пятой парадигме, создаёт у пользователей ожидание, чтоб мен ценностями должен быть доступен повсеместно. Функциональность, реализованная в рамках пятой парадигмы, может выглядеть как подключенный интегрированный физический уровень вычислений со многими устройствами, поверх которого находится слой для обслуживания платежей. [2].

В качестве примера микрорплатежей между устройствами можно привести автомобиль, который

автоматически согласует скоростное прохождение маршрута по шоссе в экстренных случаях, компенсируя микроплатежами неудобство, доставленное другим участникам движения. Координация воздушной доставки товаров беспилотными летательными аппаратами — еще один пример сетей микроплатежей между устройствами, где нужна балансировка индивидуальных приоритетов.

Ехонум — это платформа, которая позволяет создавать децентрализованные, безопасные и надежные приложения на блокчейне. Платформа предназначена для компаний, организаций и даже правительств. Используя решение Ехонум, эти организации могут создать собственную приватную сеть, которая отвечает запросам конкретной компании и обеспечивает беспрецедентную безопасность за счет интеграции проекта с блокчейном.

Ехонум самый быстрый приватный блокчейн, который может обрабатывать до 9000 транзакций в секунду. Программы для блокчейн-платформы Ехонум пишутся на языке Rust, который эксперты Bitfury называют самым безопасным языком программирования, гарантирующим отсутствие проблем с управлением памятью. Rust программа компилируется сразу в машинный код, поэтому выполняется быстрее, чем виртуальный байткод.

На данный момент платформа Ехонум используется для пилотных проектов в государственных реестрах трех стран: Грузия, Украина, Россия.

Рассмотрим инновационную технологию блокчейн и математические основы работы этой технологии.

Эллиптическая кривая Blockchain — это, в основном, общедоступная книга, в которой участники вводят данные и подтверждают их принятие транзакции с помощью алгоритма цифровой подписи эллиптической кривой (ECDSA). Эллиптическая кривая — это уравнение вида $y^2 = x^3 + ax + b$. В биткойне и большинстве других реализаций $a = 0$ и $b = 7$, поэтому уравнение можно записать в следующем виде: $y^2 = x^3 + 7$ (рис. 1).

Эти свойства можно использовать, чтобы определить две операции над точками, составляющими кривую: сложение точек и удвоение.

Для сложения точек, $P + Q = R$ необходимо провести через точки P и Q прямую, которая, по свойствам эллиптических кривых, пересекает кривую в некоторой третьей точке R' . Затем, находим точку на кривой, симметричную точке R' относительно оси X . Именно эта точка R и будет считаться суммой P и Q . Это легче всего понять по изображению, приведенному на рисунке 2.

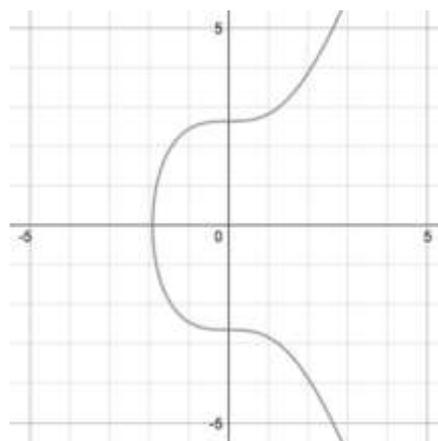


Рис. 1. Уравнение $y^2 = x^3 + 7$

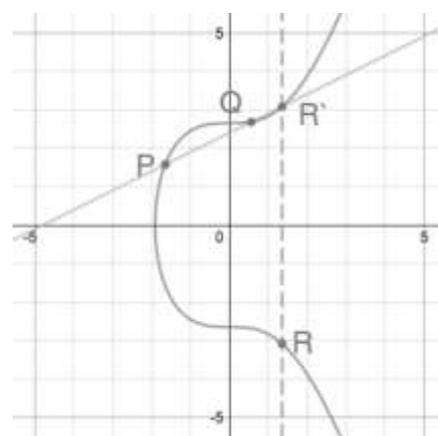


Рис. 2. $P + Q = R$

Более сложный вариант представляет собой случай, когда требуется сложить точку саму с собой. Для этого случая определяется операция удвоения точки, $P + P = R$. При удвоении следует провести прямую, касательную к данной эллиптической кривой в точке P , которая, согласно свойствам кривой, должно пересекать ее в еще одной точке R' . Точка R , симметричная R' относительно оси X , и будет считаться точкой удвоения P . На графике это выглядит следующим образом: (рис. 3).

Эти две операции можно использовать, чтобы определить операцию скалярного умножения, $R = aP$, определяемую как добавление точки P к самой себе a раз. Например:

$$R = 7P$$

$$R = P + (P + (P + (P + (P + (P + P))))))$$

Процесс скалярного умножения, как правило, можно упростить, используя комбинацию сложения и удвоения точек. Например:

$$R = 7P$$

$$R = P + 6P$$

$$R = P + 2(3P)$$

$$R = P + 2(P + 2P)$$

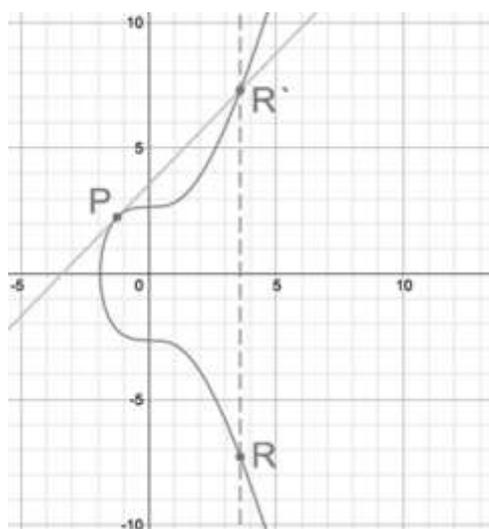


Рис.3. $R = aP$

Здесь операция $7P$ была разбита на два этапа удвоения точек и два этапа сложения точек — в итоге, вместо семи операций нужно выполнить всего четыре.

Действительно, на кривой можно определить «сложение», считая третью точку соответствующей двум заданным. Это, в основном, то, что делается в ECDSA. Вычисление открытого ключа выполняется с помощью тех же операций удвоения и сложения точек.

Это тривиальная задача, которую обычный персональный компьютер или смартфон решает за миллисекунды, в то время как обратная задача (получение секретного ключа по значению публичного) — является проблемой дискретного логарифмирования, которая считается вычислительно сложной.

Лучшие известные алгоритмы ее решения, подобные ро-алгоритму (ρ-алгоритм), предложенному Джоном Поллардом [6], имеют экспоненциальную сложность. Для $secp256k1$, чтобы решить задачу, нужно порядка 2^{128} операций, что потребует времени вычисления на обычном компьютере, сопоставимого со временем существования Вселенной.

Следует подчеркнуть, что приведенный пример включает в себя чрезвычайно скромные целые числа. В реальном приложении Bitcoin или blockchain это обычно целые числа длиной 256 бит, что приводит к значительному росту стоимости выполнения вышеуказанных операций, однако, с другой стороны, это существенно повышает затраты «нарушителей» системы, требуемые для того, чтобы, например, с помощью вычислительной попытки восстановить закрытый ключ из открытого ключа [7].

Таким образом, математика и необходимые вычисления для реализации этих схем, конечно, не являются тривиальными. Тем не менее, мы имеем

эффективную одностороннюю функцию, позволяющую относительно доступным способом проверить подпись, но создающую препятствия для работы с общедоступными данными, такими как открытый ключ, для получения критического закрытого ключа.

Безопасность ECDSA связана со сложностью задачи поиска секретного ключа, описанной выше. Помимо этого, безопасность исходной схемы зависит от «случайности» выбора k при создании подписи. Если одно и то же значение k использовать более одного раза, то из подписей можно извлечь секретный ключ. Поэтому современные реализации ECDSA, в том числе, используемые в большинстве биткойн - кошельков, генерируют k детерминировано на основе секретного ключа и подписываемого сообщения. ECDSA - это суть того, как работают bitcoin и другие приложения blockchain [8].

Эта схема сопротивлялась некоторому довольно обширному тестированию слабых мест, как математически, так и вычислительно. Несколько неудач, которые произошли на практике, как правило, заключались в том, что пользователи не проявляли осторожности в защите своих закрытых ключей, другими словами, они использовали стандартный генератор псевдослучайных чисел для создания секретных ключей, которыми впоследствии пользовались злоумышленники. Как и во всех технологиях, которые используются в цифровую эпоху, самыми слабыми местами являются пользователи, которые не проявляют достаточной бдительности.

Это в значительной степени относится к области управления большими системами, к которым относится транспортная. Несоблюдение простых правил и рекомендаций может привести к серьезным последствиям, вызвав, в том числе транспортный коллапс.

Выводы. Данная работа послужит важным шагом на пути развития системы управления движением подключенных и автономных транспортных средств, способствуя решению проблемы кибербезопасности, а также при расследованиях разного рода преступлений.

Л и т е р а т у р а

1. Kohei Arai, Rahul Bhatia Editors. Advances in Information and Communication: Proceedings of the 2019 Future of Information and Communication Conference, Volume 1
2. Свон М. Блокчейн. Схема новой экономики. М.: Олимп-бизнес, 2016.
3. <https://www.forbes.ru/tehnologii/360953-umnye-mashiny-kak-iskusstvennyy-intellekt-menyaet-avtorynok>
4. Kurt Dresner, Peter Stone. A Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management, Journal of Artificial Intelligence Research 31 (2008) 591-656
5. K. Dresner. Autonomous Intersection Management. PhD thesis, The University of Texas at Austin, 2009.

6. Василенко О. Н. Теоретико-числовые алгоритмы в криптографии. — М.: МЦНМО, 2003. — 328 с. — ISBN 5-94057-103-4.

7. Что такое блокчейн [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые дан. - режим доступа <https://habrahabr.ru/company/emercoin/blog/329276/>, свободный;

8. K. Dresner and P. Stone. A multiagent approach to autonomous intersection management. Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR), March 2008.

References

1. Kohei Arai, Rahul Bhatia Editors. Advances in Information and Communication: Proceedings of the 2019 Future of Information and Communication Conference, Volume 1

2. Svon M. Blokchein. Shema novoi ekonomiki. M.: Olimp-biznes, 2016.

3. <https://www.forbes.ru/tehnologii/360953-umnye-mashiny-kak-iskusstvennyy-intellekt-menyayet-avtorynok>

4. Kurt Dresner, Peter Stone. A Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management, Journal of Artificial Intelligence Research 31 (2008) 591-656

5. K. Dresner. Autonomous Intersection Management. PhD thesis, The University of Texas at Austin, 2009.

6. Vasilenko O. N. Teoretiko-chislovye algoritmy v kriptografii. — М.: МЦНМО, 2003. — 328 с. — ISBN 5-94057-103-4.

7. Chto takoe blokchein [Elektronnyi resurs] – Elektron. tekstovye dan. - rezhim dostupa <https://habrahabr.ru/company/emercoin/blog/329276/>, svobodnyi;

8. K. Dresner and P. Stone. A multiagent approach to autonomous intersection management. Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR), March 2008.

Bakibayev T.I., Abeshev K.Sh., Narbayeva S.M. BLOCKCHAIN FOR VEHICLES ON THE BASIS OF PLATFORM EXONUM

We propose a new vehicle monitoring system based on Exonum blockchain platform. This system may help autonomous vehicles to make decisions. This system can also help in investigating crimes and traffic offense.

The article describes the main trends in the field of intellectualization of transport systems and mobility. The blockchain technology and its capabilities in enhancing cybersecurity are described through the creation of a safe and reliable system for sending the parameters of the current state of each vehicle through its neighbors. The proposed system will serve as an important step towards the development of a motion control system for connected and autonomous vehicles.

Keywords: road safety, traffic accident, methods, blockchain, Exonum.

Бакибаев Тимур Ибрайханович, к.т.н., профессор, Алматы Менеджмент Университет (AlmaU), г. Алматы, Казахстан.

E-mail: timurbakibayev@gmail.com

Bakibayev Timur, Ph.D, Professor of the Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: timurbakibayev@gmail.com

Абешев Куаныш Шурабатырович, к.т.н., декан Алматы Менеджмент Университет (AlmaU), г. Алматы, Казахстан.

E-mail: kuanysh.abeshev@gmail.com

Abeshev Kuanysh Shurabatyrovich, Ph.D. Dean of the Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: kuanysh.abeshev@gmail.com

Нарбаева Салтанат Муратбековна, докторант специальности «Системы информационной безопасности», «Казахский национальный университет им. аль-Фараби», г. Алматы, Казахстан.

E-mail: narbaevasalta777@gmail.com

Narbayeva Saltanat Muratbekovna, Ph.D. doctoral student specialty “In information security systems”, al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: narbaevasalta777@gmail.com

Рецензент: Кулаков Александр Тихонович, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Статья подана 20.04.2019

УДК 339:338

УЛУЧШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕЛОСИПЕДИСТОВ ПОСРЕДСТВОМ УЛУЧШЕНИЯ ВЕЛОСИПЕДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Бойко А.Д., Маврин В.Г., Шубенкова К.А.

ENSURING THE CYCLING SAFETY BY IMPROVING BICYCLE INFRASTRUCTURE

Boiko A., Mavrin V., Shubenkova K.

В статье рассматривается актуальная проблема: обеспечение безопасности и устойчивости городских транспортных систем за счет взаимодействия видов транспорта. Авторы рассмотрели существующий положительный мировой опыт как инфраструктурных, так и управленческих решений. На примере города Набережные Челны предложен метод повышения безопасности транспортных систем за счет совершенствования велосипедной инфраструктуры. Для решения этой проблемы авторы исследовали перспективы развития велосипедного транспорта в городе. Для этого были проведены опросы населения разных социологических групп. Для оценки возможных вариантов решений на стадии проектирования инфраструктуры авторы статьи разработали СППР выбора наиболее эффективного и безопасного инфраструктурного проекта. Тематическое исследование Набережных Челнов - пример реализации и возможности использования, предложенной СППР. Исследования показали эффективность предложенного решения на стадии оценки инфраструктурных проектов и выбора наилучшего варианта развития велосипедного транспорта как для решения проблемы последней мили путем интеграции с общественным транспортом, так и в качестве самостоятельного вида транспорта. Предлагаемая интеллектуальная система универсальна и может применяться в любом городе.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, инфраструктура велосипедного транспорта, безопасность транспорта, проблема последней мили.

1. Введение. Двадцать первый век называют веком урбанизации ввиду беспрецедентного роста доли городского населения в мире. Города перерастают в городские агломерации, поглощая пригороды и образуя зоны сплошной застройки, функционально тесно связанные с ядром города. Такое срастание стимулирует развитие транспорта, что вызвано потребностью в мобильности населения агломерации - ежедневные трудовые поездки, так называемые «маятниковые миграции», культурно-бытовые и производственные связи между жителями города и его промышленным сектором. Городские агломерации стали сегодня основной формой

расселения в индустриально развитых странах. При этом, если раньше концентрация промышленности давала дополнительный эффект («эффект агломерации») в силу широких возможностей комбинирования и кооперирования, использования сверхконцентрации, то позже проявились негативные моменты: транспортный коллапс городов, трудности водоснабжения, проблемы экологии. В этой связи промышленность вынуждена «уходить» из крупных городов, ее место занимают другие функции: наука и научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки, финансово-управленческие фирмы и др.

Главная транспортная проблема городов заключается в том, что автомобили занимают слишком много места: в пересчете на одного человека автомобили занимают в 20 раз больше пространства, чем трамвай, и в 90 раз больше, чем метро. Им нужно пространство как для движения, так и для парковки. По мнению канадского урбаниста Брендта Тодериана, мир спасут не электрические автомобили, а правильная транспортная политика, отдающая приоритет пешеходам, пассажирам общественного транспорта и велосипедистам. Проекты TODERIAN UrbanWORKS, консалтинговой компании в Ванкувере, предоставляющей услуги городского планирования и дизайна, позволяют сделать города более успешными, устойчивыми и динамичными. [1].

Пешеходная инфраструктура, общественный транспорт и велосипеды не только экономят городское пространство, а также помогают снизить вредные выбросы в атмосферу и способствуют созданию здоровых и экономически эффективных городов. Однако необходимо помнить о проблемах, которые надо решать, планируя транспортные стратегии городов. В первую очередь, это проблемы безопасности участников движения. Так, глобальный доклад ВОЗ о состоянии безопасности дорожного движения в 2018 году, свидетельствует о

том, что ежегодно в результате дорожно-транспортных происшествий умирает около 1,35 миллиона человек [2]. Еще от 20 до 50 миллионов человек получают несмертельные травмы, причем многие из них получают в результате травмы инвалидность.

Дорожно-транспортные происшествия в настоящее время являются основной причиной смерти людей в возрасте 5-29 лет. Велосипедисты как незащищенные участники дорожного движения являются одной из их наиболее уязвимых групп. В идеале дороги должны проектироваться с учетом безопасности всех участников дорожного движения. Это будет означать, что для пешеходов, велосипедистов и мотоциклистов создадут соответствующие условия. Такие меры, как пешеходные и велосипедные дорожки, безопасные точки пересечения и другие меры по успокоению движения, могут иметь решающее значение для снижения риска получения травм среди этих участников дорожного движения.

2. Состояние проблемы: повышение безопасности и устойчивости городских транспортных систем

2.1. Перспективы развития велотранспорта в Европе

Устойчивое развитие транспорта должно быть составной частью стратегий по проектированию городов и пригородов в соответствии с принципами планирования их разумного роста. Градостроительство в соответствии с этими принципами помогает снизить зависимость от личного автотранспорта и обеспечивает поддержку преимущественного использования систем общественного и немоторизованного транспорта для ежедневных поездок и поездок на короткие расстояния. Пример такого подхода изложен в документе [3], где обозначено три основных приоритета: (1) создание улиц и уличных сетей, которые поощряют ходьбу, езду на велосипеде и использование общественного транспорта; (2) развитие общественного транспорта как самого эффективного способа передвижения на слишком протяженные для ходьбы или езды на велосипеде расстояния; (3) планирование городов пригодных для ходьбы, езды на велосипеде и использования общественного транспорта, что стимулирует строительство новых домов и создание новых рабочих мест в новых областях деятельности.

- Продвижение к более устойчивым видам транспорта оказывает положительное воздействие при условии регулирования связанных с безопасностью дорожного движения последствий. Такие последствия включают повышение уровней физической активности, снижение выбросов и уровня шума, уменьшение дорожных «пробок» и создание городов, удобных для жизни [4]. К тому же, меры по продвижению безопасного общественного транспорта и немоторизованных транспортных средств созвучны глобальным усилиям по борьбе с ожирением и уменьшению

бремени неинфекционных заболеваний (таких как болезни сердца и диабет) [5]. Езда на велосипеде является эффективным способом использования дорогостоящего и дефицитного пространства в городских районах и является здоровой, чистой и дешевой. Велосипед имеет огромный потенциал, поскольку почти половина всех автомобильных поездок в городах составляет менее пяти километров. На неформальной встрече министров транспорта ЕС в октябре 2015 г. в Люксембурге была принята Декларация о езде на велосипеде как благоприятном для климата виде транспорта. [6]. Министры призвали Комиссию, государства-члены, а также региональные власти рассмотреть ряд мер в этом направлении. Комиссия работает над дальнейшей интеграцией велосипедного движения в политику смешанных перевозок, а именно:

- усиление аспектов велосипедного движения в рамках текущих инициатив, таких как CIVITAS и Европейская неделя мобильности,
- усиление внимания к повышению безопасности дорожного движения в связи с ездой на велосипеде,
- взаимодействие с соответствующими межправительственными организациями и заинтересованными сторонами через контактного представителя по вопросам велосипедного движения;
- развитие транспортной статистики, связанной с ездой на велосипеде.

Стратегическое планирование включает разработку методов обеспечения устойчивости на основе нахождения баланса между транспортным спросом и предложением, а также использования наиболее эффективных и безопасных видов транспорта. Целью управления немоторизованным транспортом является встраивание инфраструктуры этого вида транспорта в общую систему улично-дорожной сети города. Это, с одной стороны, позволит повысить его привлекательность для разных категорий населения, и, с другой обеспечит личную безопасность для немоторизованных пользователей дорог.

2.2. Инфраструктурные решения для повышения безопасности

Сегодня существует такое заблуждение «Больше дорог – меньше заторов». Однако, опыт показывает, что новые дороги не снижают транспортные нагрузки. Чем комфортнее ездить в любом регионе, тем больше людей покупают автомобили, что снова вызывает заторы. Сокращение числа конфликтных точек, где пересекаются потоки пешеходов, моторизованных и немоторизованных транспортных средств, является наиболее эффективным методом повышения безопасности транспортной системы. При отсутствии четких правил и соответствующей инфраструктуры, взаимодействие участников движения, двигающихся с разной скоростью

небезопасно. Так, велосипедист подвергается опасности, двигаясь в потоке машин, а при его движении по тротуару, может пострадать пешеход.

Активное развитие велодвижения стимулирует разработку и реализацию муниципалитетами и инициативными группами проектов велоинфраструктуры, что позволит повысить безопасность велосипедистов и качество их взаимодействия с другими участниками движения. Темпы развития велоинфраструктуры и ее эффективность зависят, в первую очередь, от размера и планировочного решения города. Так, в небольших компактных городах велотранспорт может развиваться как самостоятельный вид транспорта, при этом велоинфраструктура становится частью улично-дорожной сети. В больших городах с интенсивным движением велотранспорт, как правило, дополняет систему общественного транспорта, являясь, по сути индивидуальным транспортом, с помощью которого можно добраться до нужной точки. Такую интеграцию называют решением проблемы первой и последней мили.

Эффективная сегрегация дорожного движения играет центральную роль в требованиях большинства участников кампании по повышению безопасности. Одним из первых оригинальных проектов транспортной инфраструктуры для Лондона стал проект SkyCycle по созданию новых безопасных велосипедных маршрутов – 219-километровой (136-мильной) сетью велосипедных дорожек, расположенных высоко над существующими железнодорожными путями. Дорожки имели бы ширину до 15 метров (49 футов), с двухстами точками входа и выхода по всему городу. Разработчики проекта - Exterior Architecture под руководством Сэма Мартина. Работая над этим предложением с 2012 года совместно с Foster + Partners и Space Syntax, они подсчитали, что велосипедные дорожки вмещают 400 000 велосипедистов в час пик и позволяют сэкономить 30 минут по сравнению с текущим временем поездки [7].

Доминиканский дизайнер Ричард Морета Кастильо предложил инновационное решение для велосипедистов, застрявших в переполненных городах, заполненных автомобилями – 10-километровую велосипедную дорожку, которую он назвал *Bicimetro Eco Bahn*: это сооружение из двух труб из стекла и стали, удерживаемых серией футуристических опор и увенчанных генерирующими энергию ветряными турбинами и фотоэлектрическими панелями. Туннели защищают велосипедистов от дорожных опасностей, таких как дорожные выбоины и транспортные средства [8]. Аналогичные решения предложены для Москвы и Казани [9, 10]. Для России тема актуальна не только ввиду необходимости разделения пространства, но и с целью защитить велосипедистов в сложных погодных условиях. Яркими примерами обеспечения

безопасности велосипедистов являются веломост *Cykelslangen* в Копенгагене, соединяющий два района [11] а также веломост *Jan Waaijer* в Нидерландах [12].

Интеграция велотранспорта с общественным транспортом применима не ко всем типам урбанизированных территорий, поэтому в каждом конкретном случае вопрос решается с учетом особенностей населенного пункта.

Качественная оценка интеграции велотранспорта в транспортную сеть города приводится в книге [13]. В первую очередь, автор видит острую необходимость использовать велосипед, как альтернативный вид транспорта в тех зонах города, где использование общественного транспорта не представляется возможным. Для выбора оптимального сравниваются несколько вариантов маршрута. В исследовании [14] приводится решение для подобного типа городов. Это связано с решением трех наиболее часто встречающихся проблем:

- как добраться до остановки;
- приспособлен ли общественный транспорт для перевозки велосипедов;
- имеются ли охраняемые парковки для велосипедов на остановках.

Статья [15] посвящена исследованиям возможности преодоления последней мили путем интеграции систем общественного и велотранспорта. Автор акцентирует внимание на использовании велопрокатов на остановках железнодорожного и автотранспорта для комплексной интеграции с системами построения маршрутов, чтобы обеспечить постоянный доступ к велосипедам в момент запроса пользователями. Автором статьи [16] для решения проблемы последней мили рассматриваются велосипеды и электрический двухколесный транспорт. По мнению автора, не стоит заикливаться только на использовании классического велосипеда. Необходимо акцентировать свое внимание на электрических велосипедах, гироскутерах, электросамокатах и моноколесах. Такой подход к решению проблемы позволит повысить устойчивость и эффективность транспортной системы. Описанные проблемы должны решаться перевозчиками совместно с муниципалитетами, поскольку популяризация велотранспорта, как средства передвижения в районах города с низкой рентабельностью общественного транспорта, позволит перевозчикам сократить издержки.

2.3. Управление в системах совместного использования велосипедов

В больших городах и мегаполисах велосипед используется в составе мультимодальной перевозки как один из способов преодоления части маршрута в интеграции с общественным транспортом. Такой тип пользования общественным транспортом активно развивается в Германии и подразумевает

краткосрочную аренду велосипедов. Стоимость 1 км пути на автомобиле обходится владельцу в среднем в пять рублей [17], в то время, как стоимость 1 км прокатного велосипеда или велошеринга обходится в 1,25 рублей. Система обеспечения мобильности населения Moovel интегрирует велосипеды в транспортную сеть города, что позволяет бронировать и оплачивать аренду [18]. Авторами статьи [19] в результате опроса 557 респондентов из города Тайбей в Тайване были выявлены важные аспекты, позволяющих выстроить правильную транспортную сеть, одним из наиболее важных элементов которой являются пункты велошеринга, расположенные на железнодорожных станциях и автобусных остановках (Public Bike System). Автор статьи [20], указывает на необходимость не только развития систем байкшеринга, но и постоянной поддержки популярности такого вида транспорта. Он предлагает интегрировать системы байкшеринга с системами построения маршрута, что, по его мнению, позволит комплексно решить проблемы последней мили в Пекине.

В документе [21] рассматриваются особенности и сходства между отдельными системами совместного использования велосипедов в городских районах с целью оказания влияния на устойчивость таких систем. Основные выводы авторов статьи: ответственные за разработку политики и практики в отношении систем совместного использования велосипедов должны понимать различные аспекты ценности для заинтересованных сторон, желающих использовать эту систему. Авторы статьи [22] на основе подробного анализа GPS-данных для системы совместного использования велосипедов и модели мобильности использования велосипеда создали модель спроса. В зависимости от различных факторов, таких как время года, погодные условия, время дня и тип дня (рабочие либо праздничные/выходные дни), система позволяет прогнозировать предстоящий спрос в определенное время и в определенном месте. В статье [23] предлагается система совместного использования велосипедов в кампусе для повышения доступности велосипедных услуг в университете Телком, где использование запущенной в 2014 году системы снизилось ввиду негибкости системы посадки. Авторами предложена новая система совместного использования велосипедов, основанная на системе Internet of Thing (IoT), использующей протокол MQTT. В связи с растущим интересом к системам велошеринга в Польше авторы статьи [24] сосредоточились на анализе аспектов, связанных с безопасностью их использования. В документе представлены факторы, которые влияют на безопасность дорожного движения пользователей системы совместного использования велосипедов.

3. Результаты и обсуждение

Характеристики урбанизированной территории, а также ее планировочное решение влияют на

потребности населения в организации мобильности, а, следовательно, на параметры велоинфраструктуры.

3.1. Изучение российского опыта создания велоинфраструктуры

В России в настоящее время уделяется большое внимание развитию велодвижения. Инфраструктурные изменения зависят как от характеристик города, так и от целей велосипедизации. Так, в работе [25], анализируются мероприятия по повышению безопасности транспортной системы города за счет велодвижения. Автор сравнивает положительные изменения в разных по характеристикам городах: Москве, Казани и Калининграде. Автором показано, что общая величина сэкономленного велосипедистами путевого времени в расчете на все население Москвы может составить 77,76...86,4 млн ч/год, Казани 9,6 млн. часов в год, в Калининграде – 2,7 млн часов в зависимости от доли бывших автомобилистов среди велосипедистов. Развитие велосипедного движения может привести к снижению уровня заболеваемости и смертности населения за счет преодоления гиподинамии в Москве на 102...1100 чел., Казани на 55 чел., Калининграде – на 17 чел. В результате внедрения рекомендуемых к использованию архитектурно-планировочных решений при формировании перспективной велосети в интеграции с УДС малоопасными или безопасными будут в Калининграде 98% протяженности веломаршрутов, в Казани – 94,6%.

Если рассмотренные выше города в силу своих размеров и планировочных решений используют велосипедный транспорт, интегрируя его в транспортную систему города как дополнение к общественному транспорту, то город Альметьевск является ярким примером развития велодвижения как альтернативы автомобильному транспорту. Это моногород с населением 150 тысяч, где практически каждая семья связана с добычей нефти. Городские власти решили не ждать пробок и не идти по чужому пути ошибок с расширением улиц и строительством парковок на месте площадей. Вместо этого они решили мотивировать жителей использовать компактный велосипед в качестве транспорта уже сегодня. Для этого была нанята команда профессионалов из Копенгагена во главе с Микаэлем Колвиллом, которые подготовили проект велодорожек по всему городу [26]. Проект по становлению Альметьевска, как велосипедного центра России является самым крупным в истории деятельности М.Колвина. Это связано с тем, что целью мера города явилось начало масштабного строительства правильных велодорожек протяженностью 200 км, обособленных не только от автомобильных дорог, но и от тротуаров. Кроме того, предусмотрено развитие сопутствующих объектов велоинфраструктуры по типу европейского

города – центра велодвижения в мире – Копенгагена. [27].

3.2. Анализ города с точки зрения транспортных потребностей

Размеры территории города оцениваются абсолютной и относительной величиной освоенной площади. Величину абсолютного показателя $S_{осв}$ принято определять в квадратных километрах методом нанесения на план города контура, в пределах которого размещены все места труда, проживания, отдыха, лечения и удовлетворения культурно-бытовых, деловых и прочих потребностей его населения. Относительное значение урбанизированной площади S находится из расчета на одного жителя города по формуле (1), где N – численность населения:

$$S = \frac{10^6 \cdot S_{осв}}{N} \tag{1}$$

Оценка степени компактности освоенной территории выполняется по величине коэффициента формы освоенной территории α_0 , который определяется по формуле (2):

$$\alpha_0 = \frac{A_0}{\Delta s} \tag{2}$$

где A_0 — воздушная удаленность освоенной территории от главного транспортного узла, определяемая по формуле (3)

$$A_0 = \frac{\sum S_{i-(i+1)}(L_i + L_{i+1})}{2 \cdot S_{осв}} \tag{3}$$

$S_i, S_{(i+1)}$ — площадь кольцевой зоны между двумя смежными окружностями в границах освоенной территории; L_i, L_{i+1} — радиусы смежных окружностей.

Δs — воздушная удаленность территории той же площади, но имеющей форму круга, от центра круга, км, определяемая по формуле (4):

$$\Delta s = \frac{2}{3} \cdot R = 0.377 \sqrt{S_{осв}} \tag{4}$$

3.3. Пример Набережных Челнов: выявление потенциальных велосипедистов

На пространственно-планировочную организацию города Набережные Челны существенное влияние оказала природно-ландшафтная ситуация: город ориентирован на акваторию Нижнекамского водохранилища, Шильнинский залив, а также на расположенные на их берегах лесные массивы. В основу планировочной организации города была положена линейная структура открытого типа с «классическим» функциональным зонированием, с параллельным расположением промышленной и

селитебной зон, пригородной зоны отдыха. Транспортно-планировочный каркас города составляют продольные магистрали, связывающие жилые районы города, что дает основание отнести планировочную схему его улично-дорожной сети к прямоугольной. Главным «диаметром» города является продольная магистраль, включающая в себя пр. М.Джалиля, пр. Набережночелнинский и пр. Мира. Население города составляет 532 472 чел., площадь 161 кв.км.

По приведенной выше методике была определена степень компактности освоенной территории. Для этого на план города были нанесены окружности через 1 км с центром в главном транспортном узле города и подсчитана площадь каждой кольцевой зоны в границах освоенной территории. $A_0 = 5.974, S = 5.95$. Коэффициент формы освоенной территории $\alpha_0 = 1.004$, что характеризует форму освоенной территории как весьма компактную.

Для таких городов эффективным решением будет использование велосипеда как способа решения проблемы последней мили. Ввиду того, что значительную часть поездок в часы пик составляют трудовые корреспонденции, разделение промышленной и селитебной зон в городе создает проблемы на пересечениях продольных и поперечных магистралей. Это вызвано тем, что существовавшая для доставки работников в промышленные зоны сеть заводских маршрутов, была ликвидирована ввиду нерентабельности. Это вынудило работников пересечь на индивидуальный транспорт, поскольку маршрутная сеть городского общественного транспорта не претерпела существенных изменений.

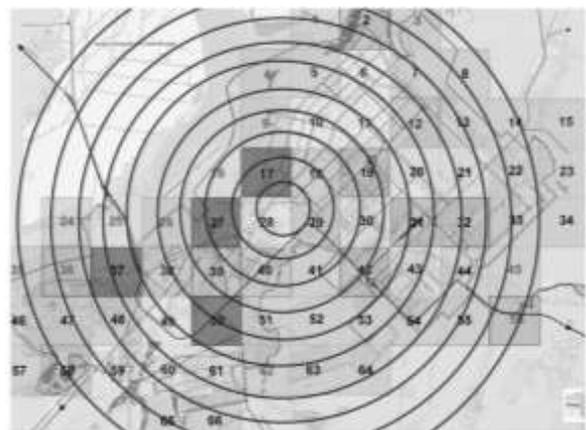


Рис. 1. Освоенная территория г. Набережные Челны

Для выявления перспектив развития велотранспорта в г.Набережные Челны о проведено обследование предпочтений населения. 953 респондента, представляющих различные целевые группы, приняли участие в текущем опросе, результаты которого (РИС1) показывают, что повысить количество людей, выбирающих

велосипед в качестве средства передвижения, можно путем встраивания инфраструктуры этого вида транспорта в общую улично-дорожную сеть города.

В данном случае, потенциальными пользователями велосипедов могут стать молодые работники предприятий, расположенных в промышленной зоне, а также студенты вузов и колледжей, которые с помощью велосипеда могли бы решать проблему «последней мили».

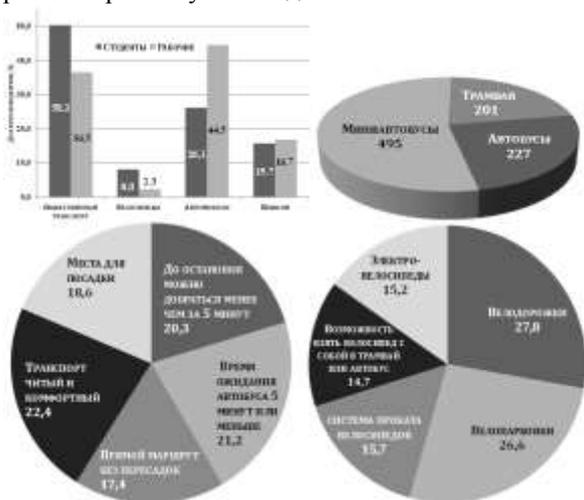


Рис. 2. Результаты опроса жителей г. Набережные Челны

Опрошенные отметили, что в городе недостаточно велоинфраструктурных объектов:

- Сети велодорожек;
- Безопасных переездов на пересечении с автомобильными дорогами;

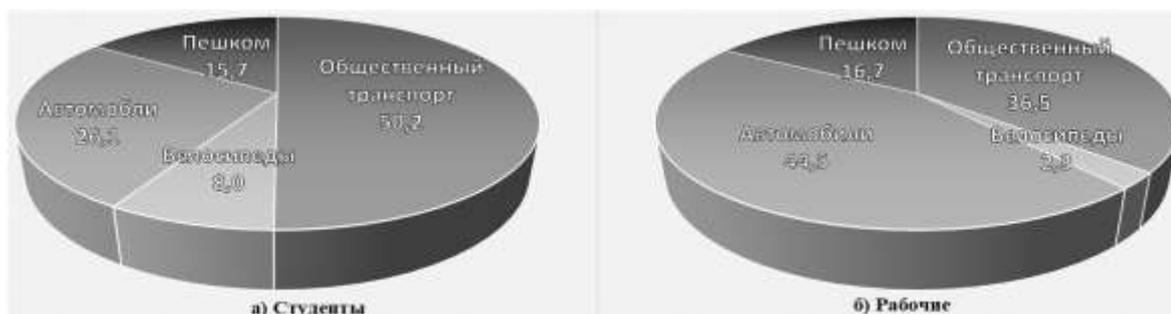


Рис. 3. Результаты опроса сотрудников КАМАЗ.4

3.4. Разработка СППР для оценки эффективности и безопасности инфраструктурных проектов

Развитие велосипедного движения в городах приведет к увеличению числа велосипедистов и величины выполняемой ими транспортной работы. Поэтому требования к безопасности велодорожек будут постоянно возрастать. В этой связи важно на основе междисциплинарных исследований установить и оценить значения показателей безопасности на разных этапах автомобильного, велосипедного, велопешеходного движения от начала до конца

- Зон отдыха и ремонта (поста самообслуживания);
- Охраняемых крытых парковок;
- Пунктов проката по доступным ценам.

Для изучения перспективности этого направления нами было проведено анкетирование среди студентов филиала Казанского федерального университета и среди молодых работников ПАО «КАМАЗ».

Средой для реализации анкеты был выбран онлайн сервис «Google Документы», который имеет простые инструменты для составления анкеты с четко выстроенной логикой и позволяет получить структурированный результат не только в виде текстовых ответов, но и в виде графиков. В опросе приняли участие 186 студентов и 102 работника ПАО КАМАЗ (Рис.3). Анкетирование, проведенное среди студентов, показало, что, по их мнению, не хватает оборудованных парковок для велосипеда, это затрудняет его использование.

Развитие велоинфраструктуры позволило бы расширить число потенциальных пользователей велотранспорта, в особенности путем развития системы велошеринга на остановочных пунктах общественного транспорта и вело-прокатов для длительной аренды велосипедов. Полученные результаты были проанализированы и записаны в виде, удобным для дальнейшего внесения в базу данных для выбора оптимального варианта с точки зрения безопасности и стоимости строительства дополнительных объектов вело-пешеходной инфраструктуры.

маршрута, т.е. когда потенциально может возникнуть опасность ДТП. Авторы статьи [28] считают, что безопасность велосипедного движения урбанизированной территории можно оценить величиной уровня опасности σ , отражающего вероятность наступления ДТП с участием велотранспорта. При $\sigma=1$ ДТП неизбежно, при $\sigma=0$ вероятность ДТП равна нулю. На степень опасности влияют: наличие перекрестков, частота и скорость передвижения автотранспорта, тип велосипедной дорожки, а также ее ширина.

Уровень безопасности велосипедистов зависит от целого ряда статистических и динамических факторов:

- Наличие изолированных велодорожек в городе;
- Потребность и возможность использования велосипеда совместно с общественным транспортом;
- Доступность велосипедов (личные и взятые в аренду);
- Индивидуальные характеристики велосипедов (средняя скорость преодоления маршрута, время в пути, средняя скорость движения, расстояние до наступления усталости и необходимости ремонта, время отдыха и ремонта);
- Транспортное поведение (наличие велосипедного шлема, соблюдение ПДД, конфликтность с другими участниками движения – водителями автомобилей, велосипедистами, пешеходами).

При составлении маршрутов городского движения необходимо выбрать максимально безопасный маршрут с учетом особенностей участника движения. Категоризация маршрута может выполняться по наличию различных факторов, осложняющих условия движения. В зависимости от типа путешествия, маршруты в городе могут быть автомобильными, пешеходными, велосипедными и комбинированными. Комбинированный маршрут, как правило, включает зоны, где движение осуществляется общественным

транспортом, а движение между начальной (конечной) точкой и остановкой общественного транспорта осуществляется пешком или на велосипеде. Эти участки оцениваются с использованием разработанной нами методики оценки безопасности маршрутов по нескольким критериям. Обобщенная схема алгоритма оценки приведена на рис. 4.

На первом этапе были выделены факторы, которые определяют категорию маршрута по сложности для пешеходов и велосипедистов. Поскольку значимость фактора для разных категорий участников движения определяется их особенностями, для определения веса факторов были выделены категории пешеходов и велосипедистов по возрасту и по состоянию здоровья [29]. Оценку маршрута можно выполнить с помощью комплексного показателя, который вычисляется по формуле средневзвешенного значения: (5)

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{K_i \alpha_i}{\alpha_i} \quad (5)$$

Здесь K_i – значение i -го параметра, α_i – вес показателя. Для того, чтобы в формуле можно было суммировать разнородные показатели, вычисляют их приведенные значения.

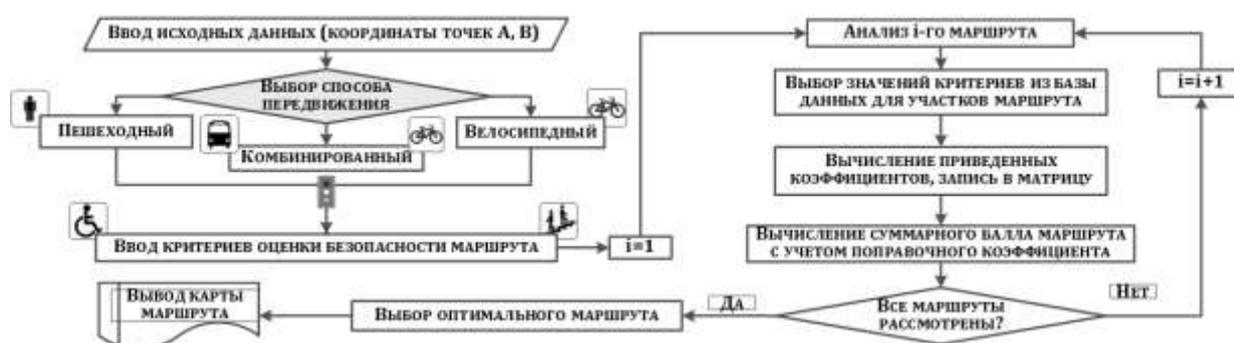


Рис. 4. Алгоритм оценки



Рис. 5. Концептуальная схема СПСП

Факторы, определяющие безопасность маршрута, могут быть как объективными (например, местность, наличие нерегулируемых перекрестков и т.д.), так и субъективными из-за особенностей и физического состояния пользователя дороги (возраст, состояние здоровья и т.д.). Адекватность оценки будет зависеть от правильности выбранных факторов и их комбинированного включения. Например, тот же маршрут может быть более безопасным при дневном свете, чем в темноте, летом, чем зимой и т.д.

Поскольку значительную часть перемещений по городу составляют смешанные маршруты, следует оценить количество пересадок на маршруте, поскольку именно безопасность пересадочных узлов на таких маршрутах может быть определяющей. В статьях исследователей, изучающих способы повышения безопасности велосипедистов, оцениваются уже существующие веломаршруты. Мы предлагаем прогнозировать эффективность проектов, выбирая из нескольких вариантов тот, который изначально будет наиболее приемлем в каждом рассматриваемом случае. Для этих целей предлагается разработать управляющую систему поддержки принятия решений, интеллектуальным ядром в которой будут имитационные модели. Концептуальная модель системы поддержки принятия решений представлена на рисунке 5. Корректность работы СППР во многом определяется качеством исходной информации и адекватностью методики ее обработки. Это обеспечивается наличием:

- модуля сбора, хранения и администрирования данных о количественных и качественных свойствах объектов велоинфраструктуры, параметрах транспортной системы, а также данных мониторинга параметров велосипедных и пешеходных потоков;
- модуля анализа статистических и динамических данных;
- модуля для принятия решений с целью анализа и оценки данных и последующей выработкой рекомендаций (расчет ширины дорожки исходя из пассажиропотока и пропускной способности существующей велоинфраструктуры; обоснование необходимости прочих объектов инфраструктуры);
- модуля разработки имитационных моделей до/после внесения изменений в соответствии с полученными рекомендациями).

Разработанный модуль (рис. 6) для выбора оптимального маршрута будет включен в состав этой системы. С его помощью можно будет оценить безопасность как существующей, так и проектируемой инфраструктуры.

Выводы. Качественная интеграция велоинфраструктуры с системой общественного транспорта города может быть достигнута путем внедрения системных разработок, поэтому одной из подсистем СППР будет модуль обоснования такой интеграции. СППР должна обеспечить возможность как стратегического, так и оперативного управления. Стратегические задачи определяются на долгосрочную

перспективу и критериями качества интеграции будет повышение безопасности, пропускной способности и пассажиропотока, а также уменьшение времени на преодоление последней мили.



Рис. 6. Вид разработанного модуля

Для обеспечения динамического сбора данных для информационной системы необходимо использовать счетчики велосипедистов и пешеходов. Подобные системы активно используются не только за рубежом и в Москве, но и в других городах, в частности, Казани и в Альметьевске.

Л и т е р а т у р а

1. Transportation + mobility, Toderian Urban Works, <http://www.toderianurbanworks.com/portfolio/transportation-mobility/>, last accessed 2019/01/17.
2. Global status report on road safety 2018, World Health Organization. URL: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/, Последнее обращение 15.01.2019.
3. Mayor's Transport Strategy, 2018 Copyright Greater London Authority, <https://www.london.gov.uk/sites/default/files/mayors-transport-strategy-2018.pdf>, last accessed 2018/12/25.
4. Вукан Р. Вучик Транспорт в городах, удобных для жизни. Transportation for Livable Cities. Перевод: Александр Калинин, ред.: Михаил Блинкин. - Изд-во: Территория будущего, Серия: Университетская библиотека Александра Погорельского, 2011. - 576 с. ISBN: 978-5-91129-058-0
5. Sustainable Urban Transportation, Creating green liveable cities. URL: <https://stateofgreen.com/en/uploads/2016/06/Sustainable-Urban-Transportation.pdf?time=1538088932>. Последнее обращение 17.01.2019
6. Informal meeting of Ministers for Transport (2015), European Convention center Luxembourg, <http://www.eu2015lu.eu/en/agenda/2015/10/07-info-transport/index.html>, last accessed 2019/01/08.
7. SkyCycle, Foster + Partners, 2013, London, UK, <https://www.fosterandpartners.com/projects/skycycle/>, last accessed 2019/01/18.
8. Bicimetro Eco Bahn: Elevated Bike Tunnels Let Cyclists Soar Above Congested City Traffic, Inhabitat, <https://inhabitat.com/bicimetro-eco-bahn-lets-cyclists-soar-above-congested-city-traffic/>, last accessed 2019/01/16.
9. An alternative to bicycle paths was proposed by Kazan architects: cycle-politics, Inkazan.ru, <http://inkazan.ru/2014/01/21/alternativu-velodorozhkam-predlozhili-kazanskije-arhitektoryi-velopoliten/>, last accessed 2019/01/14.

10. Bicycle roads, Varlamov, <http://varlamov.ru/979334.html>, last accessed 2019/01/15.

11. Cycle bridges of the world, Part I, Cykelslangen (Copenhagen), <http://veloman.uz/blog/velotourism-cycling/66485/>, last accessed 2019/01/10.

12. Cycle bridges of the world, Part II, Jan Waaijer (Netherlands), <http://veloman.uz/blog/velotourism-cycling/66485/>, last accessed 2019/01/09.

13. Walker, J. Human Transit: How clearer thinking about public transit can enrich our communities and our lives. Island Press. 2012. 244 p.

14. Walker, J. Can We Cycle the "Last Mile"?, <https://humantransit.org/2010/04/can-we-all-cycle-the-last-mile.html>, last accessed 2018/12/20.

15. Wang, H., Odoni, A., Approximating the Performance of a "Last Mile" Transportation System, <http://dx.doi.org/10.1287/trsc.2014.0553>, last accessed 2018/02/25.

16. Greenway, O., Fixing the first and last mile problem, <https://www.inmotionventures.com/fixing-the-first-and-last-mile-problem/>, last accessed 2018/03/02.

17. 15 most profitable cars, <https://www.sravni.ru/text/2015/9/9/15-samykh-vygodnykh-avtomobilej-v-segmente-do-15-mln-rub/>, last accessed 2018.05.20.

18. An urban mobility company, making cities smarter, Moovel, <https://www.moovel-group.com/en>, last accessed 2018/05/20.

19. Jen Te Pai. User Behaviour Analysis of the Public Bike System in Taipei / Jen Te Pai, Shih Ying Pai // International Review for Spatial Planning and Sustainable Development – №2. P. 39-52 (2015).

20. Zhili L., Xudong J., Wen C. Solving the Last Mile Problem: Ensure the Success of Public Bicycle System in Beijing. Procedia - Social and Behavioral Sciences 43 (2012) 73 – 78

21. Zhang, L. et al. Sustainable bike-sharing systems: characteristics and commonalities across cases in urban China. Journal of Cleaner Production 97 124-133 (2015).

22. Reiss, S., Bogenberger, K., A Relocation Strategy for Munich's Bike Sharing System: Combining an operator-based and a user-based Scheme 19th EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT2016, 5-7 September 2016, Istanbul, Turkey. Transportation Research Procedia 22 105–114 (2017).

23. Fauzan Adhi, R., Gautama, A.P., Abdurohman, M., Distributed Campus Bike Sharing System Based-On Internet of Things (IoT). 2018 6th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT). Pp. 333-336 (2018).

24. Turoń, K., Sierpiński, G., Bike-sharing as a possibility to support Vision Zero. MATEC Web Conf., 231 (2018) 03005 DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823103005>.

25. Trofimenko, Yu., Shashina, E., Methodology and Results of Assessing Safety of Bicycle Infrastructure in Russian Cities., 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in large cities», SPbOTSIC-2016, Pp 653-658 (2017).

26. Almet'yevsk: 50 km of bike paths built, <https://letsbikeit.ru/2016/10/almet'yevsk/>, last accessed 2019/01/17.

27. Plepys, A., Heiskanen, E. and Mont, O. European policy approaches to promote servicizing / Journal of Cleaner Production. P. 117–213 (2015).

28. Trofimenko, Y., Shashina, E. Methodology and Results of Assessing Safety of Bicycle Infrastructure in Russian Cities. Transportation Research Procedia, pp.19-20 (2017).

29. Makarova, I.; Pashkevich, A.; Shubenkova, K., Safe Routes as One of the Ways to Reduce the Number of Road Accidents Victims. Lecture Notes in Networks and Systems. Iss. 21. Pp. 73-84 (2018).

Boyko A., Mukhametdinov E., Shubenkova K. ENSURING THE CYCLING SAFETY BY IMPROVING BICYCLE INFRASTRUCTURE

The paper deals with the relevant problem: ensuring safety and sustainability of urban transport systems. Authors have considered existing positive world wide experience of both infrastructure and managerial solutions. Using the city of Naberezhnye Chelny as an example, a method is proposed for improving the safety of transport systems by improving cycle structures. To reach this, authors have conducted a study of the prospects for the development of bicycle transport in the city by carrying out a survey of the population. On the basis of the conducted research, the effectiveness of the proposed solution for the development of bicycle transport was revealed. To implement this solution, the authors of the article have developed DSS for assessing the effectiveness and safety of infrastructure projects. Case study of Naberezhnye Chelny is an example of the implementation and the possibility of using the proposed DSS; however, this intelligent system is universal and can be applied to any city.

Keywords: Decision Support System, bicycle, transport infrastructure, trans-ports safety, urban safety, last mile problem.

Бойко Алексей Дмитриевич, магистр, ассистент кафедры «Сервис Транспортных Систем», Казанский Федеральный Университет, г. Набережные Челны.

Boyko Aleksey, master, Assistant of the department "Service of Transport Systems" of the Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny.

Маврин Вадим Геннадьевич, к.т.н., доцент кафедры «Сервис Транспортных Систем», Казанский Федеральный Университет, г. Набережные Челны.

Mavrin Vadim, Candidate of Sciences, assistant professor of the department "Service of Transport Systems" of the Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny.

Шубенкова Ксения Андреевна, к.т.н., старший преподаватель кафедры «Сервис Транспортных Систем», Казанский Федеральный Университет, г. Набережные Челны.

Shubenkova Ksenia, Candidate of Sciences, Senior Lecturer of the department "Service of Transport Systems" of the Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny.

Рецензент: Кулаков Александр Тихонович, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Статья подана: 15.03.2019

УДК 656.97

СМАРТ-ВЕЛОСИПЕД КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В СМАРТ-ГОРОДАХ

Бойко А.Д., Цыбунов Э.Н.

SMART-BIKE AS ONE OF THE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF INDIVIDUAL TRANSPORT IN SMART-CITIES

Boyko A., Tsybunov E.

Умная Мобильность является одним из основных направлений развития транспортной системы Умного Города. При этом наряду с интеллектуализацией управления решается вопрос о переходе к более чистым, безопасным и устойчивым видам транспорта, таким как велосипед. Демократичность и доступность, дешевизна и экологичность, поддержание здорового образа жизни – причины роста популярности данного вида транспорта во всем мире. В работе предлагается один из возможных путей развития велотранспорта в смарт-сити, который позволяет расширить число его пользователей за счет снижения требований к уровню физической подготовленности человека. Предлагаемая разработка представляет концепцию Умного Велосипеда, который контролирует состояние велосипедиста и окружающей среды и включает электромотор в критических ситуациях. Это позволяет снизить нагрузку на велосипедиста, а также расход батареи, что положительно сказывается на экологии Умного Города.

Ключевые слова: Велосипед, инфраструктура велосипедного транспорта, безопасность транспорта, проблема последней мили.

Введение. Рост автомобилизации, повышенная мобильность населения, вызывает целый ряд негативных последствий, в особенности в больших городах и мегаполисах. Наиболее значимыми из них являются проблемы со здоровьем человека. Шум и загрязнение воздуха вместе представляют собой два наиболее важных фактора риска для окружающей среды в урбанизированных обществах. Европейское общество кардиологов в недавнем исследовании подтвердило наличие связи между этими факторами риска с сердечно-сосудистыми и метаболическими заболеваниями [1]. Использование велосипедов в качестве транспорта будет способствовать решению этих проблем.

1. Преимущества и недостатки велотранспорта

Результаты анкетирования, проведенного в г. Набережные Челны, показывают, что повысить количество людей, выбирающих велосипед в качестве средства передвижения, можно путем

расширения модельного ряда немоторизованных транспортных средств.

Электровелосипеды получили широкое распространение по всему миру [3]. Их использование позволяет преодолевать крутые подъёмы и значительные расстояния физически неподготовленным людям, и, следовательно, растет число людей, которые выбирают этот вид транспорта как способ передвижения. Электровелосипеды в общем случае отличаются от обычных велосипедов наличием трёх дополнительных компонентов: электродвигателя, аккумуляторной батареи и контроллера.

2.1. Недостатки электровелосипедов

Ряд недостатков, которыми обладает электровелосипед, затрудняет его использование:

- значительная масса (от 20 до 50 кг и более) и соответствующая инерция;
- недостаточный запас хода только на электроприводе (редко больше 25-50 км);
- длительное время зарядки батарей (как правило, не меньше 2-6 часов);
- короткий срок службы свинцово-кислотных и литий-ионных аккумуляторных батарей;
- высокая стоимость готового изделия и его эксплуатации по сравнению с обычным велосипедом (от 2-х до 10 раз).

Помимо этого, при использовании электродвигателя у велосипедиста отсутствует кардио-нагрузка, и, соответственно, использование электровелосипеда не оказывает положительного влияния на здоровье велосипедиста.

2.2. Принципиальная схема технического решения

Одним из способов решения проблемы является сочетание особенностей велосипедов, кардио-тренажеров и электрического транспорта. Идея заключается в том, чтобы помочь велосипедисту снизить физическую нагрузку, когда она становится чрезмерной, и, в то же время, минимизировать негативное воздействие на

окружающую среду, используя электродвигатель только тогда, когда это строго необходимо.

Для реализации этой идеи необходимо разработать такую интеллектуальную систему управления велосипедом, которая сочетает в себе велосипедный компьютер, моторизованное колесо и датчики, контролируемые физическое состояние человека и параметры окружающей среды [4].



Рис. 1. Схематическое изображение технического решения

Управление электровелосипедом осуществляется с помощью вело-компьютера (контроллера), который должен подавать ток от аккумулятора на электродвигатель в случае либо сложных условий движения (при подъеме в гору), либо в случае если кардио-нагрузка велосипедиста превышает оптимальную для его физического состояния. Решение о включении электродвигателя принимается на основании мониторинга, анализа и принятия во внимание факторов, представленных на рисунке 2.

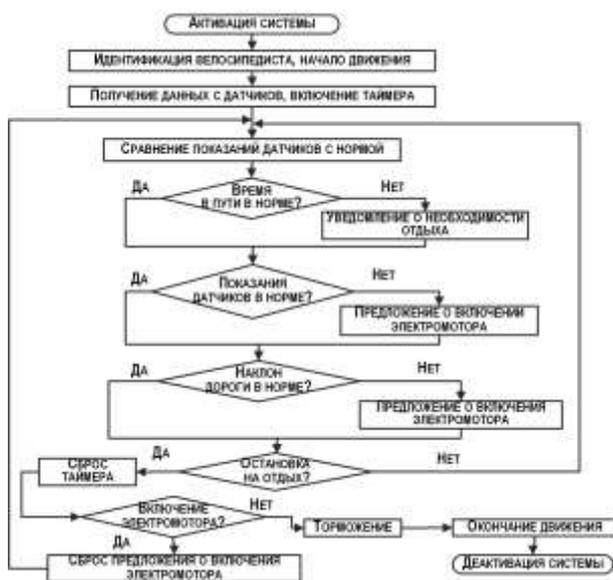


Рис. 2. Алгоритм работы системы

3. Функциональные требования к управляющей системе

Сбор исходных данных для внедрения концепции Смарт велосипеда осуществляется с

помощью датчиков, установленных на руле, колесах, а также на велосипедисте. Датчики и контроллеры, которые можно использовать, представлены на слайде. Данные собираются в базу данных, где хранятся и обрабатываются. Далее система анализирует полученные данные, выявляет отклонения показателей от нормы и на основании этих данных предупреждает велосипедиста о возникновении критической ситуации и предлагает варианты решения проблемы.

Приведем один из сценариев работы системы. При превышении велосипедистом Оптимального Тренировочного Пульса и снижении скорости передвижения ниже средней скорости, характерной для этого велосипедиста, на экране появляется уведомление с предложением включить электропривод. При включении электропривода, когда скорость восстанавливается и пульс выравнивается, электромотор выключается.

Таблица 1

Пример сценария «Включите электропривод»

Шаг	Событие	Действие
		Сбор данных состояния пользователя (пульс, вес, высота, отслеживание местоположения и т. д.)
1	Значение импульса превысило ОТП, скорость движения меньше 15 км / ч	Сравнение этих показателей со значениями «эталоны» для конкретного велосипедиста. Отображение преодоления порога тренировки. Предложение включения электропривода.
2	Снижение сердечного ритма	Отключение электропривода, сброс показаний преодоления порога обучения

4. Программно-техническая реализация

Данные с датчиков передаются на смартфон, а оттуда поступают в базу данных Microsoft SQL Server для хранения и обработки. Связь со смартфоном осуществляется через беспроводное соединение Bluetooth.

5. Аппаратно-техническая реализация

Для разработки использовалось аппаратно-программное средство Arduino и совместимый модуль беспроводной связи стандарта Bluetooth 2.0 HC-05.



Рис. 3. Arduino и Bluetooth модуль HC-05

Для обеспечения работы данных аппаратных средств с контроллером электромотора необходимо было разработать блок управления. Ниже на

рисунках 4 и 5 изображены схема блока управления и расположение элементов на нем.

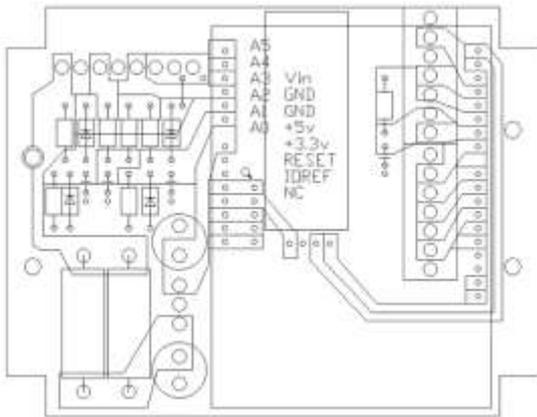


Рис. 4. Блок управления

В данной схеме задействованы следующие разъемы контроллера Arduino:

0. Rx – прием информации от Arduino
1. Tx – передача информации от Arduino (два последовательных канала)
2. Направление движения
3. Тахометр, установленный на педалях
4. Направление, на контроллер мотор-колеса
5. Скорость, на контроллер мотор-колеса
6. U
7. V
8. W
9. Вход LED от драйвера
10. Вход тормоз 1
11. Вход тормоз 2

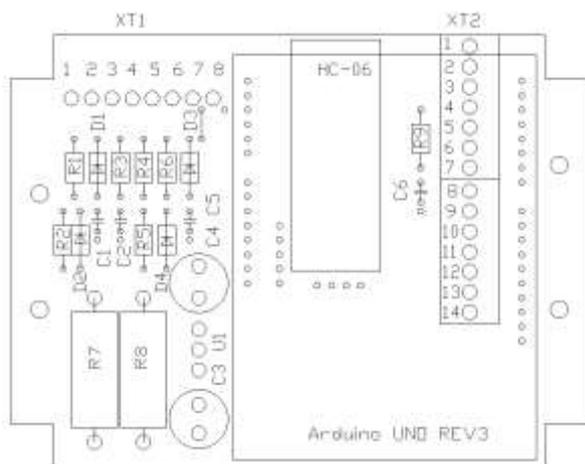


Рис. 5. Схема расположения элементов

Была разработана схема электрического соединения с контроллером мотор-колеса.



Рис. 6. Пример скетча, выполненного в среде для разработки Arduino IDE

Для того, чтобы система могла понимать команды, отправленные пользователем, для контроллера Arduino необходимо разработать «скетч». Скетч - это программа, написанная для платформы Arduino и имеющая определенную структуру. Скетч обязательно содержит 2 функции: функцию setup и функцию loop. Прошивка Arduino при включении вызывает функцию setup. Функция setup вызывается лишь раз, при каждом запуске платы. Это место идеально подходит для инициализации (задания начальных значений) переменных, установки режимов пинов (ввод/вывод), задания соответствия подключенных датчиков/сервоприводов/прочего с пинами. После выполнения функции setup идет циклический вызов функции loop (т.е. сразу после выхода из функции setup, выполняется функция loop, после выхода из неё, она же вызывается снова. Процесс продолжается пока питание не будет отключено.)

Благодаря специально написанному скетчу можно подключиться по Bluetooth смартфоном к контроллеру, установленному на велосипеде, и отправлять команды в виде символов, управлять велосипедом и получать ответные данные о состоянии тех или иных датчиков.

Выводы. Переход к общественному и немоторизованному транспорту является одним из ключевых элементов устойчивой, здоровой городской среды. Предлагаемая Интеллектуальная система управления Смарт велосипедом позволит:

1. Повысить максимальную дистанцию, которую без проблем сможет проехать физически нетренированный человек;

2. Подниматься в гору с той же скоростью движения без дополнительных усилий;

3. Ездить на велосипеде даже пожилым людям и людям, которым требуется дозированная кардионагрузка;

4. Контролировать физическое состояние пожилых людей, людей с различными сердечными заболеваниями, а также людей, проходящих кардиореабилитацию.

Л и т е р а т у р а

1. Аббисс, Ц., Лаурсен, П. (2005) Модели для объяснения усталости во время длительной езды на велосипеде на выносливость. Спортс Мед, 35 (10), 865-898.

2. Арсенио, Е., Мартенс, К., Ди Циоммо, Ф. (2016) Планы устойчивой городской мобильности: преодоление последствий изменения климата и цели? Исследования в области экономики транспорта, 55, 30-39.

3. Фишман, Е. (2016) Бикешаре: Обзор новейшей литературы, обзоры транспорта, 36:1, 92-113.

4. Форсытх, А., Кризек, К. (2011) Городской дизайн: есть ли отличия от велосипеда? Журнал Городского Дизайна, 16, 531-549.

5. Госслинг, С. (2013) Городские транспортные переходы: Копенгаген, город велосипедистов. Й. Трансп. Геогр. 33, 196-206.

R e f e r e n c e s

1. Abbiss, C., Laursen, P. (2005) Models to Explain Fatigue during Prolonged Endurance Cycling. Sports Med, 35 (10), 865-898.

2. Arsenio, E., Martens, K., Di Ciommo, F. (2016) Sustainable urban mobility plans: Bridging climate change and equity targets? Research in Transportation Economics, 55, 30-39.

3. Fishman, E. (2016) Bikeshare: A Review of Recent Literature, Transport Reviews, 36:1, 92-113.

4. Forsyth, A., Krizek, K. (2011) Urban Design: Is there a Distinctive View from the Bicycle? Journal of Urban Design, 16, 531-549.

5. Gössling, S. (2013) Urban transport transitions: Copenhagen, city of cyclists. J. Transp. Geogr. 33, 196-206.

Boyko A., Tsybunov E.

SMART-BIKE AS ONE OF THE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF INDIVIDUAL TRANSPORT IN SMART-CITIES

Smart Mobility is one of the main directions of development of the transport system of the Smart City. At the same time, along with the intellectualization of management, the issue of transition to cleaner, safer and more sustainable modes of transport, such as bicycles, is being addressed. Democracy and availability, cheapness and environmental friendliness, promoting a healthy lifestyle - the reasons for the growing popularity of this type of transport throughout the world. The paper proposes one of the possible ways of developing bicycle transport in smart city, which allows you to expand the number of its users by reducing the requirements to the level of physical fitness of a person. The proposed development represents the concept of a Smart Bicycle that controls the condition of the cyclist and the environment and includes an electric motor in critical situations. This reduces the load on the cyclist, as well as battery consumption, which has a positive effect on the ecology of the smart City.

Keywords: Bicycle, bicycle transport infrastructure, transport safety, last mile problem.

Бойко Алексей Дмитриевич, магистр, ассистент кафедры «Сервис Транспортных Систем», Казанский Федеральный Университет, г. Набережные Челны.

Boyko Aleksey, master, Assistant of the department "Service of Transport Systems" of the Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny.

Цыбунов Эдуард Николаевич, к.т.н., доцент кафедры «Сервис Транспортных Систем», Казанский Федеральный Университет, г. Набережные Челны.

Tsybunov Eduard, Candidate of Sciences, assistant professor of the department "Service of Transport Systems" of the Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny.

Рецензент: Кулаков Александр Тихонович, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Статья подана 15.03.2019

УДК 629.424:621.433

СИСТЕМА БЕЗДРЕНАЖНОГО ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ

Брянцев М.А., Данилейченко А.А., Доценко Д.М.

SYSTEM OF WASTE-FREE STORAGE OF LIQUEFIED NATURAL GAS OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF LOCOMOTIVE DIESEL

Bryantsev M.A., Danileychenko A.A., Dotsenko D.M.

Приведено конструктивное исполнение комплекса, использующего эффект периодического расширения легкокипящей жидкости при ее кратковременном нагревании для осуществления бездренажного хранения сжиженного природного газа в системе питания тепловозного дизеля. Основным узлом комплекса является устройство автоматического нагнетания испаренного газа в резервуар высокого давления. Система питания позволяет полностью исключить непроизводительные выбросы ценного топлива в атмосферу, а автоматический режим управления и отсутствие приводных нагнетателей обуславливают высокую автономность комплекса.

Ключевые слова: природный газ, стоимость топлива, экология, тепловоз, двухконтурная система питания, дополнительный резервуар, легкокипящая жидкость

Введение. Отсутствие крупных нефтяных месторождений в Украине обуславливает привлекательность использования в качестве топлива для собственного транспорта природного газа (ПГ).

Экономическая целесообразность более широкого применения газового топлива связана не только со значительными разведанными мировыми запасами, оцениваемыми на уровне 201 трлн.м³ [1], в том числе в Украине по прогнозам специалистов - от 0,9 до 0,95 трлн.м³ [2,3], но и более низкой, уже на сегодняшний день, стоимостью теплового эквивалента газа относительно светлых нефтепродуктов. Так, при сгорании 1м³ ПГ находящегося при нормальных условиях, выделяется теплота эквивалентная сжиганию 1,25л бензина А-80 или 1,15л дизельного топлива (ДТ) [4,5]. С учетом настоящих цен (ПГ – 24 руб./м³, Аи-92 – 40руб./л, ДТ – 49-51 руб./л) и реальных расходов транспортным средством, затраты на топливо на единицу пути при работе ДВС на бензине Аи-92 увеличатся в 3,8 раза, а на ДТ - приблизительно в 3,6 раза по сравнению с ПГ [4,5].

Важным экологическим аспектом применения ПГ является возможность снижения токсичности отработавших газов (ОГ) двигателя даже без предварительной химической обработки сырья.

Первые попытки использования газа на тепловозе предпринимались еще в 30-х годах прошлого столетия. Уже в 80-х годах на территории стран СНГ и США были созданы полноразмерные образцы тепловозов с системой питания, адаптированной для работы на сжатом до 20МПа ПГ. Одной из проблем, вероятно, препятствовавшей внедрению тепловозов, работающих на сжатом газе, являются большие массо-габаритные размеры заправочных емкостей и связанные с этим ограничения по запасу хода на одной заправке.

В этой связи активизируются попытки использования сжиженного природного газа (СжПГ) в качестве основного топлива тепловозного двигателя. Хранение СжПГ при температуре -162°С позволяет уменьшить его первоначальный объем при нормальных условиях в 600 раз [6]. Кроме того, в процессе сжижения газа легко удаляются многие вредные примеси, благодаря чему появляется возможность снижения токсичности ОГ до уровня норм EURO 5 [4,5,7].

Основная проблема эксплуатации систем питания такого двигателя связана с хранением СжПГ на тепловозе и необходимостью периодического сбрасывания паров газа в атмосферу с целью предотвращения аварийного повышения давления в резервуаре, вследствие теплообмена с окружающей средой. При среднесуточных потерях СжПГ по объему 1% магистральный тепловоз 2ТЭ116Г с тендером на 17000 кг теряет 170кг сжиженного газа, что эквивалентно 250м³ газа.

Целью статьи является снижение потерь испаренного газа, путем использования системы утилизации паров газа с последующим их использованием в ДВС.

Материалы и результаты исследования. На кафедре ДВС ЛНУ им. В.Даля рассматривается

возможность утилизации выбросов паров СЖПГ применением двухконтурной системы питания дизеля с дополнительным резервуаром накопления испаренного газа и последующим использованием их по прямому назначению.

Принципиальная схема системы питания тепловозного двигателя с комплексом бездренажного хранения СЖПГ показана на рисунке 1.

Основным узлом комплекса является устройство автоматического нагнетания испаренного газа в резервуар высокого давления.

Принцип действия разработанного устройства основан на использовании эффекта периодического

расширения легкокипящей жидкости при ее кратковременном нагревании.

Испарившийся в процессе хранения газ перепускается из резервуара 1 через клапан 10 в компрессорную полость 4, где, расширяясь, смещает мембрану 5 и связанную с ней штоком мембрану 7 вправо. Вследствие этого легкокипящая жидкость в полости 8 сжимается. В момент максимального заполнения испарившимся газом компрессорной полости 4 по сигналу контактного датчика 12 осуществляется подключение нагревательного элемента 9 к электрической сети.

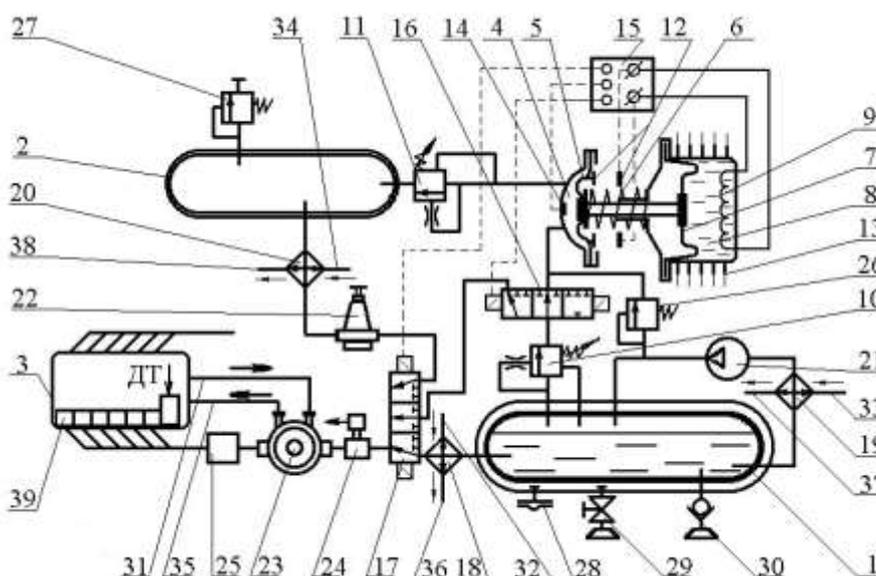


Рис. 1 Схема системы питания тепловозного двигателя с комплексом

бездренажного хранения сжиженного природного газа ----- электрическая связь;

1 - Резервуар СЖПГ; 2 - баллон со сжатым газом; 3 - ДВС; 4 - компрессорная полость; 5 - основная мембрана; 6 - пружина; 7 - мембрана полости легкокипящей жидкости; 8 - полость с легкокипящей жидкостью; 9 - нагревательный элемент; 10 - дренажный клапан; 11 - перепускной клапан; 12 - контакты датчика максимального заполнения компрессорной полости; 13 - ребра охлаждения; 14 - датчик полного вытеснения паров газа из компрессорной полости; 15 - блок автоматического управления; 16,17 - трехпозиционные распределители; 18,19,20 - теплообменники; 21 - насос-компрессор; 22 - редуктор высокого давления; 23 - редуктор низкого давления; 24 - электромагнитный запорный клапан; 25 - смеситель-дозатор; 26,27 - предохранительные клапаны; 28 - предохранительная вакуумная мембрана; 29 - вакуумный вентиль; 30 - заправочное устройство; 31,32,33,34 - каналы подвода воды из системы охлаждения; 35,36,37,38 - каналы отвода воды из системы охлаждения; 39 - топливный насос высокого давления.

В результате повышения температуры давление легкокипящей жидкости в полости 8 заметно повышается, что приводит к обратному перемещению мембран 7 и 5 и нагнетанию паров газа в баллон 2.

При полном вытеснении СЖПГ из полости 4 блок автоматического управления 15 формирует сигнал отключения нагревателя, температура легкокипящей жидкости постепенно снижается - процесс перепуска возобновляется.

Выводы. 1. Применение двухконтурной системы питания с рассмотренной системой утилизации паров газа позволяет полностью

исключить непроизводительные выбросы ценного топлива в атмосферу, загрязняющего окружающую среду.

2. Автоматический режим управления и отсутствие приводных нагнетателей обуславливают высокую автономность комплекса и дают основания предположить относительно невысокие затраты на его обслуживание.

Л и т е р а т у р а

1. Хачиян, А.С. Использование природного газа в качестве топлива для автомобильного транспорта / А.С. Хачиян // Двигателестроение.- СПб, 2002.- №1.- С. 34-36.

2. Метан угольных месторождений Украины: производственный и инвестиционный потенциал шахт Донбасса: Пер.с англ. / Партнерство по энергетической и экологической реформе / Джерри Рэй Трипплетт (сост.). — К. : Логос, 2000. — 132с.

3. Карп, И.Н. Использование горючих газов в качестве моторного топлива / И.Н.Карп, Б.И.Шелковский, Я.М.Кутынский, Р.М.Говдяк, И.М. Калапунь // Экотехнологии и ресурсосбережение.- К., 2000. - №1.- С. 19 - 21.

4. Состояние и перспективы использования природного газа в качестве моторного топлива / Открытое акционерное общество "Газпром". Информационно-рекламный центр газовой промышленности (ООО "ИРЦ Газпром"). — М., 2000. — 108 с.

5. Васильев, Ю.И. Газозаправка транспорта. / Ю.И.Васильев, А.И.Гриценко, К.Ю. Чириков - М. : Недра, 1995. — 445с.

6. Иванцов, О. Твердый шаг жидкого газа / О.А. Иванцов, А.Т. Двойрис // Наука и жизнь.— М., 1988.— № 7.— С. 79 - 83.

7. Лютко, В.В. Застосування альтернативних палив у дизельних двигунах / В.В. Лютко //Посіб. для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються по спеціальності "Екологія та нетрадиційні джерела енергії".- Івано-Франківськ : Полум'я, 2000.- 238 с.

References

1. Nachiyan, A.S. Ispolzovanie prirodno gaza v kachestve topliva dlya avtomobilnogo transporta / A.S. Nachiyan // Dvigatellestroenie.- SPb, 2002.- №1.- S. 34-36.

2. Metan ugolnyih mestorozhdeniy Ukrainyi: proizvodstvennyy i investitsionnyy potentsial shaht Donbassa: Per.s angl. / Partnerstvo po energeticheskoy i ekologicheskoy reforme / Dzhherri Rey Triplett (sost.). — К. : Logos, 2000. — 132s.

3. Karp, I.N. Ispolzovanie goryuchih gazov v kache-stve motornogo topliva / I.N.Karp, B.I.Shelkovskiy, Ya.M.Kutyanskiy, R.M.Govdyak, I.M. Kalapuny // Ekotekhnologii i resursosberezhenie.- K., 2000. - №1.- S. 19 - 21.

4. Sostoyanie i perspektivy ispolzovaniya pri-rodno gaza v kachestve motornogo topliva / Otkryitoe aktsionerное obschestvo "Gazprom". Informatsionno-reklamnyy tsentr gazovoy promyshlennosti (ООО "IRTs Gazprom"). — М., 2000. — 108 s.

5. Vasilev, Yu.I. Gazozapravka transporta. / Yu.I.Vasilev, A.I.Gritsenko, K.Yu. Chirikov - М. : Nedra, 1995. — 445s.

6. Ivantsov, O. Tverdyiy shag zhidkogo gaza / O.A. Ivantsov, A.T. Dvoyris // Nauka i zhizn.— М., 1988.— № 7.— S. 79 - 83.

7. Lotko, V.V. Zastosuvannya alternativnih paliv u dizelnyh dvigunah / V.V. Lotko //Posib. dlya studentiv vischih navchalnih zakladiv, scho navchayutsya po spetsialnostI "Ekologiya ta netraditsiynI dzhereda energiyI".- Ivano-Frankivsk : Polum'ya, 2000.- 238 s.

Bryantsev M.A., Danileychenko A.A., Dotsenko D.M. SYSTEM OF WASTE-FREE STORAGE OF LIQUEFIED NATURAL GAS OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF DIESEL LOCOMOTIVE DIESEL

The purpose of the article is to reduce the loss of vaporized gas through the use of a system for utilization of gas

vapors and their subsequent use in internal combustion engines. The design of the complex using the effect of the periodic expansion of a low-boiling liquid during its short-term heating to carry out drainage-free storage of liquefied natural gas in the diesel power supply system is given. The main component of the complex is an automatic injection of vaporized gas into the high-pressure tank. The use of a dual-circuit power supply system with the considered gas vapor utilization system makes it possible to completely eliminate unproductive emissions of valuable fuel into the atmosphere, which pollutes the environment. Automatic control mode and the absence of drive superchargers cause a high autonomy of the complex and suggest that the maintenance costs are relatively low.

Keywords: *natural gas, fuel cost, ecology, diesel locomotive, dual-circuit power system, additional tank, low-boiling liquid*

Брянцев Максим Анатольевич, старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: 280376@rambler.ru

Bryantsev Maksim Anatolievich, Senior Lecturer of the «Internal combustion engines», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: 280376@rambler.ru

Данилейченко Александр Анатольевич, канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: 280376@rambler.ru

Danileychenko Alexander Anatolievich, candidate of Sciences, a docent, head of the Department «Internal combustion engines», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: 280376@rambler.ru

Доценко Данил Михайлович, ассистент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: danil-docenko@mail.ru

Dotsenko Danil Mikhailovich, a chair assistant of the "Internal combustion engines" State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: danil-docenko@mail.ru

Рецензент: Куликов Юрий Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 01.02.2019

УДК 621.874

КОНЦЕПЦИЯ МЕТОДА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ТОРМОЗНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

Будиков Л.Я.

THE CONCEPT OF THE METHOD OF CALCULATING THE OPTIMUM THE BRAKING PERFORMANCE OF CRANES

Budikov L.Ya.

В статье изложена концепция метода расчета (формирования) оптимальных тормозных характеристик механизмов передвижения грузоподъемных кранов, оборудованных тормозными устройствами различных типов. Ставится задача не только расчета тормозного момента при рассмотрении крана с грузом как многомассовой динамической модели, а и задача формирования тормозных характеристик, обеспечивающих оптимальное (рациональное) торможение по обобщенному критерию при любом типе тормозных устройств.

Ключевые слова: грузоподъемные краны, тормозные процессы, многопараметрическая оптимизация.

Введение. В настоящее время величина тормозного момента механизма передвижения грузоподъемного крана определяется из условия погашения кинетической энергии вращающихся и поступательно движущихся масс привода(ов) и крана за заданное время или на заданном тормозном пути. При определении тормозного момента: рассматривается движение крана без груза; не учитываются упругие свойства элементов механизма и металлоконструкции, гибкий подвес груза. Подчеркнем, что по приведенной в РТМ 24.090.28-77 методике рассчитываются тормозные моменты механизмов, оборудованных одноступенчатыми тормозами нормально закрытого типа.

Целью работы является знакомство с концепцией метода расчета (формирования) оптимальных тормозных характеристик механизмов передвижения грузоподъемных кранов, оборудованных тормозными устройствами различных типов. Ставится задача не только расчета тормозного момента при рассмотрении крана с грузом как многомассовой динамической модели, а и задача формирования тормозных характеристик, обеспечивающих оптимальное (рациональное) торможение по

обобщенному критерию при любом типе тормозных устройств.

Переходные процессы передвижения грузоподъемного крана всесторонне могут быть охарактеризованы только совокупностью параметров. В частности “качество” тормозных процессов мостовых кранов достаточно полно характеризуется четырьмя параметрами: *временем торможения t_t , максимальной амплитудой отклонения груза после останова крана A^{\max} , максимальными динамическими нагрузками металлоконструкции P_m^{\max} и привода $P_{пр}^{\max}$.*

Вследствие случайного характера тормозного процесса, определяемого переменными начальными условиями торможения (скоростью крана в начале торможения, массой груза и высотой его подвеса, фазой колебания груза и др.) и видом тормозной характеристики привода, решение такой оптимизационной задачи возможно, если ограничить область исследований и рассматривать процесс торможения как детерминированный.

Рассмотрим два случая: *первый* – механизм передвижения крана оборудован устройством для электродинамического торможения двигателя, *второй* – двухступенчатыми тормозами.

В первом случае уравнение ξ -ой приведенной тормозной силы привода (1) можно однозначно задать с помощью трех факторов: максимального момента $M_{k\xi}$, критического скольжения $s_{k\xi}$ электродвигателя и скорости крана $v_{B\xi}$, при которой двигатель отключается и дальнейшее торможение крана до его полной остановки осуществляется постоянным тормозным моментом M_T колодочным тормозом (комбинирование электродинамического и механического торможения).

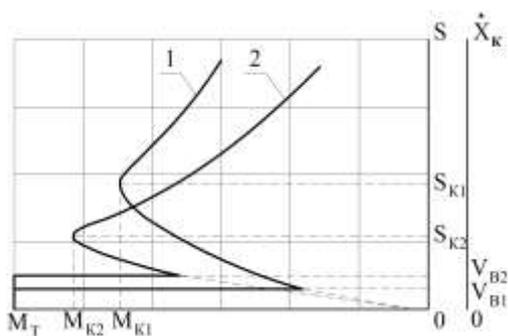


Рис. 1. Механические характеристики привода при комбинированном торможении

В этом режиме приведенная к поступательному передвижению крана тормозная сила привода (рис. 1):

$$P_T(M_{k\xi}, S_{k\xi}, v_{B\xi}) = \begin{cases} -\frac{2 \cdot M_{k\xi} \cdot S_{k\xi} \cdot v_0 \cdot u_m \cdot \dot{x}_k \cdot \eta}{r_k \cdot (s_{k\xi}^2 \cdot v_0^2 + \dot{x}_k^2)} & \text{при } \dot{x}_k > v_{B\xi}; \\ -M_T \cdot u_m \cdot \eta / r_k & \text{при } \dot{x}_k \leq v_{B\xi}. \end{cases} \quad (1)$$

Если тормозное устройства обеспечивает двухступенчатое нарастание тормозного момента, то приведенная к поступательному передвижению крана тормозная сила привода описывается уравнениями (2):

$$P_T = \begin{cases} P_{T1} = -M_{T1} \cdot u_m \cdot \eta / r_k & \text{при } t \leq t_{T1}; \\ P_{T2} = -M_{T2} \cdot u_m \cdot \eta / r_k & \text{при } t > t_{T1}, \end{cases} \quad (2)$$

здесь M_{T1} и M_{T2} – тормозные моменты первой и второй ступеней торможения.

В этом случае приведенная сила тормоза является функцией следующих факторов: P_{T1} , t_{T1} , P_{T2} (рис. 2).



Рис. 2. Механические характеристики привода передвижения крана при двухступенчатом торможении

Ранее отмечено, что “качество” тормозных процессов мостового крана можно охарактеризовать только совокупностью параметров. Одним из способов решения задачи оптимизации процессов с большим количеством откликов является использование в качестве обобщенного критерия оптимизации обобщенной функции желательности D .

Для ее построения предлагается преобразовать измеренные значения откликов Y_ℓ в значения безразмерной шкалы желательности d (рис. 3). Построение шкалы желательности, которая устанавливает соотношение между значениями ℓ -го отклика Y_ℓ и соответствующими ему значениями частной функции желательности d_ℓ , является в своей основе субъективным, отражающим отношение исследователя к отдельным откликам.

На рис. 3 для мостового крана г/п 10 т пролетом 28,5 м представлены графики функций желательностей $d_1, d_{2,3,4}$, безразмерная шкала y' , а также шкалы перевода значений параметров $t_T, A^{max}, P_m^{max}, P_{пр}^{max}$ в значения частных желательностей.

Для получения зависимостей $d_{1i} = f_1(t_{Ti}), d_{2i} = f_2(A_i^{max}), d_{3i} = f_3(P_{mi}^{max})$ и $d_{4i} = f_4(P_{при}^{max})$ граничным значениям параметров должны быть поставлены в соответствие отметки на шкале желательности.

Время торможения мостовых кранов t_T ограничено с двух сторон: с одной стороны оно должно быть больше минимального времени торможения t_{min} , при котором нарушается сцепление приводных ходовых колес с рельсами, а с другой – меньше максимального времени торможения t_{max} , определяемого из особенностей технологического процесса.

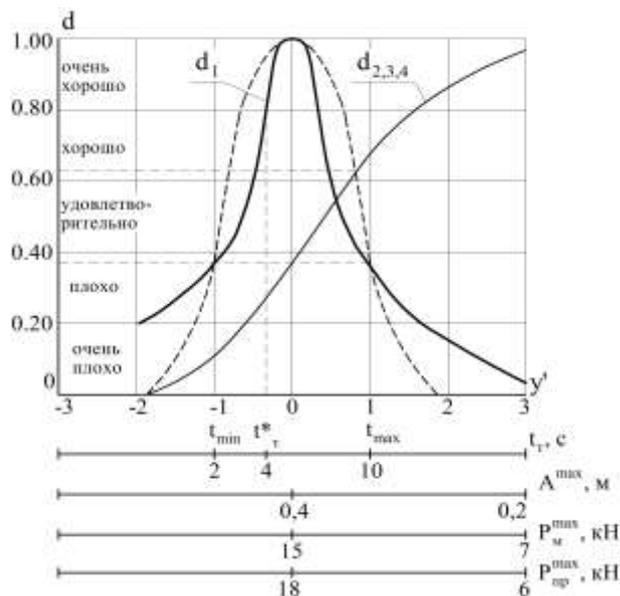


Рис. 3. Графики функций желательностей

Для двухстороннего ограничения вида $t_{min} \leq t_T \leq t_{max}$ преобразование значений t_T в шкалу d производится при помощи функции

$$d_1 = \exp[-(|y'|)^w], \quad (3)$$

где

$$w = \frac{\ln(\ln(1/d_1^*))}{\ln\left|\frac{2 \cdot t_T^* - (t_{max} + t_{min})}{(t_{max} - t_{min})}\right|},$$

$$y' = \frac{2 \cdot t_{pi} - (t_{max} + t_{min})}{t_{max} - t_{min}}.$$

На рис. 3 при построении графика функции (3) для мостового крана г/п 10 т значению $d_1 = 0,37$ шкалы желательности, лежащему на границе областей “удовлетворительно” и “плохо”, поставлены в соответствие $t_{min} = 2$ с (определено из условия недопущения пробуксовки (юза) приводных ходовых колес) и $t_{max} = 10$ с (определено из условия технологического процесса), а значению $d^*_{1} = 0,80$, лежащему на границе областей “очень хорошо” и “хорошо”, - значение $t^*_{T} = 4,0$ с. От того, какое значение t^*_{T} будет поставлено в соответствие значению $d^*_{1} = 0,80$, зависит крутизна ветвей кривой d_1 (рис. 3).

Окончательно выражение для частной функции желательности d_{1i} , позволяющей преобразовывать полученные экспериментально значения времени торможения t_{Ti} в значения d_{1i} , примет вид:

$$d_{1i} = \exp[-((2 \cdot t_{pi} - (t_{max} + t_{min})) / (t_{max} - t_{min}))^w]. \quad (4)$$

Ограничения для параметров A^{max} , P_m^{max} , P_{pr}^{max} носят односторонний характер. Формой их преобразования в d_2 , d_3 и d_4 служит экспоненциальная зависимость

$$d_{2,3,4} = \exp[-\exp(-y'_{2,3,4})], \quad (5)$$

где $y'_2 = a_{02} + a_{12} \cdot A^{max}$,

$$y'_3 = a_{03} + a_{13} \cdot P_m^{max}, \quad y'_4 = a_{04} + a_{14} \cdot P_{pr}^{max}.$$

Коэффициенты a_{02} , a_{03} , a_{04} , a_{12} , a_{13} и a_{14} определяют задав значению 0,37 частных функций желательностей d_2 , d_3 и d_4 соответствующие им максимально приемлемые значения A^{max} , P_m^{max} и P_{pr}^{max} (рис. 3), а значению 0,95 - желаемые значения этих параметров.

Окончательно выражения для частных функций желательностей, с помощью которых полученные в i -ом опыте значения A_i^{max} , P_{mi}^{max} , P_{pri}^{max} преобразуются в значения d_{2i} , d_{3i} , d_{4i} , имеют вид:

$$d_{2i} = \exp[-\exp(-a_{02} - a_{12} \cdot A_i^{max})], \quad (6)$$

$$d_{3i} = \exp[-\exp(-a_{03} - a_{13} \cdot P_{mi}^{max})], \quad (7)$$

$$d_{4i} = \exp[-\exp(-a_{04} - a_{14} \cdot P_{pri}^{max})]. \quad (8)$$

В формулах (4), (6)-(8) значения параметров t_{pi} , A_i^{max} , P_{mi}^{max} и P_{pri}^{max} получены в результате i -го “вычислительного” эксперимента.

Имея несколько откликов Y_{1i} , Y_{2i}, \dots, Y_{fi} , преобразованных в шкалу d , можно при помощи

арифметических операций скомбинировать из этих различных d_{fi} некий обобщенный показатель желательности D_i .

$$D_i^q = \sqrt[q]{d_{1i} \cdot d_{2i} \cdot \dots \cdot d_{fi}}, \quad (9)$$

где q – число частных желательностей, i – номер опыта.

Первоначально задачу оптимизации переходных процессов (неустановившихся периодов) работы грузоподъемных машин целесообразно решать на математических моделях. Это быстрее и экономичнее, и при вычислительном эксперименте можно поддерживать постоянным, например, сопротивление передвижению крана при торможении, которое изменяется в достаточно большом диапазоне, прежде всего, из-за непостоянства трения реборд ходовых колес о головки рельсов, уклона подкрановых путей и др.

Вычислительный эксперимент заключается в определении основных параметров переходного процесса (t_{pi} , A_i^{max} , P_{mi}^{max} , P_{pri}^{max}) численным интегрированием уравнений движения крана с грузом при торможении по j -ой тормозной характеристике.

Анализ научных трудов по динамике грузоподъемных кранов показал, что исследование и оптимизацию переходных процессов передвижения мостовых кранов, с достаточной для практических расчетов точностью, можно выполнить на дискретных четырехмассовой или трехмассовой динамических моделях, движение которых описывается системами нелинейных дифференциальных уравнений [2, 3].

Значения основного уровня \tilde{z}_{j0} и интервалов варьирования $\Delta \tilde{z}_j$ каждого фактора (т.е. положение и размеры локального участка поверхности отклика) выбираются исходя из априорной информации.

В проводимом исследовании ставится задача нахождения градиента функции отклика $D^p = f(Z_j)$, поэтому в качестве математической модели принимается полином первой степени (который содержит информацию о направлении градиента и имеет минимальное число коэффициентов и, следовательно, требует минимального количества опытов)

$$D_i^p = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j \cdot Z_{ji}, \quad (10)$$

где: b_0 , b_j - коэффициенты регрессии; Z_{ji} - кодированное значение j -го фактора в i -ом опыте.

Коэффициенты b_0 , b_1 , b_2 , ..., b_k уравнения регрессии (10) рассчитываются обработкой полученных в результате вычислительного эксперимента значений обобщенного критерия оптимизации D_i^q (см. [2]). В качестве плана опытов можно рекомендовать при числе факторов $k \leq 4$

ставить полный факторный эксперимент типа 2^k , при $k > 4$ - дробный факторный эксперимент типа 2^{k-p} .

В общем случае коэффициенты уравнения регрессии (10) определяются методом наименьших квадратов.

Адекватность уравнения регрессии (10) оценивается коэффициентом вариации

$$\rho = \frac{1}{D_{cp}} \cdot \sqrt{\frac{\sum (D_i^o - D_i^p)^2}{N - n^*}} \leq \alpha', \quad (11)$$

где $D_{cp} = b_0$ - значение критерия "качества" переходного процесса для основного уровня факторов; D_i^o - полученное в результате вычислительного эксперимента значение критерия "качества" в i -ом опыте полного (ПФЭ) или дробного (ДФЭ) факторного эксперимента; D_i^p - рассчитанное с помощью полинома (10) значение критерия "качества" в i -ом опыте ПФЭ (ДФЭ); N - число опытов; n^* - общее число коэффициентов регрессии; α' - уровень значимости (в технике $\alpha' = 0,05$).

После построения линейной модели (10) для каждого фактора рассчитывается шаг крутого восхождения. Шагом по наиболее сильно действующему фактору задаются, а по остальным факторам шаг рассчитывается из отношения:

$$\frac{h_j}{h^*} = \frac{b_j \cdot \Delta \tilde{Z}_j}{b^* \cdot \Delta \tilde{Z}^*} \rightarrow h_j = h^* \cdot \frac{b_j \cdot \Delta \tilde{Z}_j}{b^* \cdot \Delta \tilde{Z}^*}, \quad (12)$$

где h^* и h_j - шаги крутого восхождения по наиболее сильно действующему и j -ому факторам; b^* , b_j - коэффициенты уравнения регрессии (10) при соответствующих факторах; $\Delta \tilde{Z}^*$, $\Delta \tilde{Z}_j$ - натуральные значения интервалов варьирования соответствующих факторов.

Крутое восхождение начинается от основного уровня факторов. Условия проведения опытов получают последовательным прибавлением (вычитанием) к значениям факторов на основном уровне шага по соответствующим факторам.

Движение по градиенту продолжается до тех пор, пока имеет место улучшение обобщенного критерия оптимизации D_i^o . Как только его значение начнет уменьшаться, то либо задача оптимизации решена (если исследователя удовлетворяют полученные результаты), либо проводится новая серия опытов с центром $Z_{j_0}^*$, соответствующим условиям лучшего достигнутого результата.

Сопротивление передвижению мостового крана при работе в помещении складывается из сопротивлений трения качения ходовых колес по рельсам и трения в буксах ходовых колес $W_{тр}$, сопротивления трения реборд ходовых колес о рельсы (учитывается коэффициентом k_p) и

сопротивления от уклона подкранового пути W_y . Для кранов работающих в помещении суммарное сопротивление передвижению изменяется от $W_1 = W_{тр} - W_y$ до $W_2 = k_p \cdot W_{тр} + W_y$. Для рассматриваемого крана г/п 10 т пролетом $L = 28,5$ м расчетные значения сопротивлений передвижению $W_1 = 1674$ Н, $W_2 = 3309$ Н, т.е. для кранов одного пролета может изменяться почти в 2 раза.

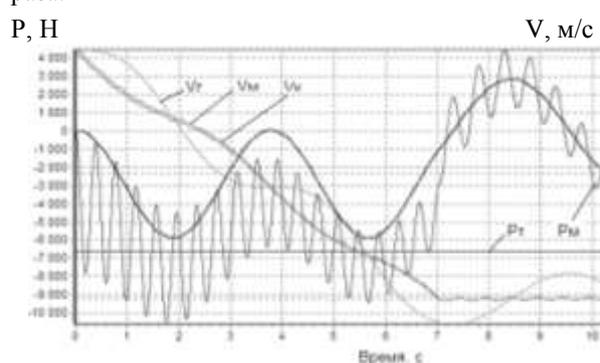


Рис. 4. Торможение крана механическими тормозами ($W_2=3309$ Н; $L = 28,5$ м; $l_n = 5$ м)

Графики параметров процесса торможения крана механическими тормозами представлены на рис. 4. Торможение крана пролетом $L = 28,5$ м при длине подвеса груза $l_n = 5$ м в случае наличия трения реборд и движения на уклон произошло за $t_t = 7,04$ с, при этом $P_{м(max)} = 10,60$ кН, $P_{к(max)} = 5,89$ кН (в случае отсутствия трения реборд и движения под уклон $t'_t = 11,58$ с, $P'_{м(max)} = 6,22$ кН, $P'_{к(max)} = 3,45$ кН).

Оптимизация по обобщенному критерию выполнена методом крутого восхождения по поверхности отклика. Задача оптимизации решается в следующей последовательности.

Исходя из априорной информации, эксперимент начат со значений $P_{т1}$, $t_{т1}$, $P_{т2}$ соответствующих основному уровню факторов (табл. 1).

Таблица 1

Начальные условия опытов

Факторы	$P_{т1}$, Н	$t_{т1}$, с	$P_{т2}$, Н
Коды (Z_i)	Z_1	Z_2	Z_3
Основные уровни (\tilde{z}_{j_0})	1500	2,0	4000
Интервалы варьирования ($\Delta \tilde{z}_j$)	100	0,1	100
Верхние уровни (код +1)	1600	2,1	4100
Нижние уровни (код -1)	1400	1,9	3900

На первом этапе, варьируя в каждом опыте всеми факторами, исследователь ищет лишь направление движение к области оптимума (направление градиента), для чего поверхность отклика исследуется только на небольшом участке, что позволяет аппроксимировать поверхность отклика на этом участке линейным уравнением регрессии.

Определив с помощью уравнения регрессии направление градиента и сделав несколько опытов в этом направлении, т.е. осуществив крутое восхождение по поверхности отклика, исследователь выбирает новую исходную точку. В дальнейшем на каждом этапе, в соответствии с результатами, полученными на предыдущем этапе, ставится небольшая серия опытов, результаты которых, вместе с интуитивными решениями исследователя, определяют дальнейшее направление движения. Эта процедура заканчивается в области оптимума, где движение по градиенту уже не дает оптимального улучшения параметра оптимизации.

Возможны два варианта дальнейших действий: если исследователя устраивает полученный при крутом восхождении результат, то на этом исследовании заканчивается, если нет, то исследуется «почти стационарная» область. Здесь ставится большая серия опытов, и поверхность отклика в области оптимума описывается уже нелинейными функциями.

Для расчета коэффициентов линейного уравнения регрессии (10) поставлен полный факторный эксперимент.

Графики параметров переходного процесса мостового крана г/п 10 т пролетом 28,5 м при торможении по рациональной механической характеристике помещены на рис. 5.

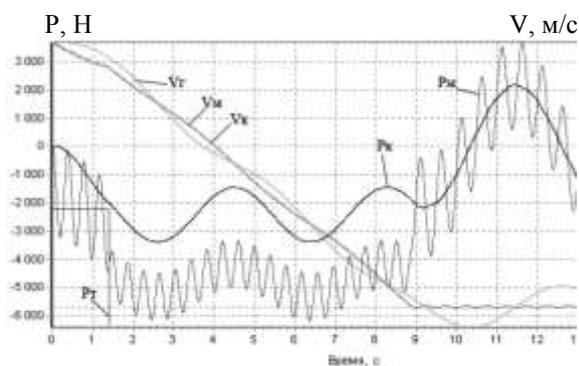


Рис. 5. Графики параметров при торможении крана г/п 10 т пролетом 28,5 м по рациональной двухступенчатой характеристике

Таким образом, в результате оптимизации значение обобщенного критерия D^3 увеличилось с 0,6205 до 0,8938 ($t_r = 8,88$ с, $P_{M(max)} = 6,16$ кН, $P_{K(max)} = 3,40$ кН).

Выводы. 1. Установлено, что при исследовании динамики передвижения мостовых кранов определяющее влияние на характер процессов разгона и торможения крана, величину максимальных нагрузок металлоконструкции и амплитуду колебания груза оказывают механические характеристики привода;

2. Для формирования оптимальных (рациональных) тормозных процессов грузоподъемных кранов необходимо уметь оценивать «качество» этих процессов.

3. «Качество» тормозных процессов грузоподъемных кранов всесторонне можно охарактеризовать только совокупностью параметров (например, для мостовых кранов это t_r , A^{max} , P_M^{max} , $P_{пр}^{max}$).

4. Предложенный метод расчета (формирования) оптимальных тормозных характеристик механизмов передвижения мостовых кранов позволяет, до начала расчетов, закладывать желаемые области варьирования каждого параметра: t_r , A^{max} , P_M^{max} , $P_{пр}^{max}$.

Л и т е р а т у р а

1. РТМ 24.090.28-77. Краны грузоподъемные. Механизм передвижения. Метод расчета.
2. Будиков Л.Я. Многопараметрические исследования динамики мостовых кранов. Учебное пособие. Луганск: Изд-во Луганского национального университета имени В. Даля, 2017. – 236 с.
3. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов. - М.: Машиностроение, 1987. - 160 с.

R e f e r e n c e s

1. RTM 24.090.28-77. Cranes lifting. The mechanism of movement. Calculation method.
2. Budikov L. Y. Multiparametric study of the dynamics of bridge cranes. Textbook. Lugansk: publishing House of Luhansk national University named after V. dal, 2017. – 236 p.
3. Lobov N.. Dynamics of load-lifting cranes. - Moscow: Mechanical Engineering, 1987. - 160 c.

Budikov L. Ya.

THE CONCEPT OF THE METHOD OF CALCULATING THE OPTIMUM THE BRAKING PERFORMANCE OF CRANES

The article describes the concept of the method of calculation (formation) of the optimal braking characteristics of the mechanisms of movement of cranes equipped with various types of braking devices. The task is not only to calculate the braking torque when considering a crane with a load as a multi-mass dynamic model, but also the problem of forming the braking characteristics that provide optimal (rational) braking according to a generalized criterion for any type of braking devices.

Keywords: lifting cranes, braking processes, multi-parameter optimization.

Будиков Леонид Яковлевич – докт. техн. наук, профессор кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля». **E-mail:** lugu_ptt@mail.ru

Budikov Leonid Yakovlevich – Doct. Techn. Professor of the Department "Industrial and urban transport" of the State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University». **E-mail:** lugu_ptt@mail.ru

Рецензент: Губачева Лариса Александровна, д.т.н., проф., зав.кафедрой «Промышленный и городской транспорт», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

УДК 629.7.036.3-253.5.004.15

ПРОБЛЕМАТИКА РЕМОНТА КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК ГТД С ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ТИТАНА

Быкадоров В.В., Данилейченко А.А., Любченко Д.И.

PROBLEMATICS OF REPAIR OF GTE COMPRESSOR BLADES WITH PROTECTIVE COATINGS BASED ON TITANIUM NITRIDE

Bykadorov V.V., Danileychenko A.A., Lyubchenko D.I.

К компрессору газотурбинного двигателя, обеспечивающего поступление сжатого воздуха в камеру сгорания, предъявляются требования, направленные на достижение безопасности полетов.

Надежность работы компрессора достигается механической очисткой воздуха перед входом в компрессор и нанесением защитных покрытий на сами лопатки. Оба способа достаточно хорошо отработаны, продолжают совершенствоваться. Однако к ремонту лопаток с защитным покрытием внимания практически не уделяется.

В работе представлено исследование по ремонту лопаток с противозерозионным покрытием, получившим износ в процессе эксплуатации. Дано обоснование предложенного варианта нанесения такого покрытия с точки зрения ремонтпригодности лопаток, получивших абразивный износ в процессе эксплуатации газотурбинного двигателя.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, лопатки компрессора, нитрид титана, ремонт.

Введение. С точки зрения конструктивного исполнения газотурбинный двигатель подвергается разрушительному воздействию как изнутри (прогар лопаток турбины и сопловых аппаратов, разрушение подшипников, масляное голодание и т.п.), так и под внешним воздействием (нарушение требований эксплуатации, повышенный или ускоренный износ составных частей двигателя и пр.).

Как внешнее воздействие всасываемый наружный воздух начинает воздействовать на газотурбинный двигатель сразу же с первых часов его эксплуатации. Причиной тому является неизбежная запыленность пропускаемого через компрессор воздуха.

Компрессор является первой составной частью двигателя, которая воспринимает на себя основной удар внешнего разрушительного воздействия взвешенных в воздухе твердых частиц.

Опытным путем установлено, что в особых условиях эксплуатации двигатель даже с имеющимся на входе пылезащитным устройством

может пропускать через себя до выработки половины межремонтного ресурса не менее 100 кг пыли, вследствие чего степень сжатия компрессора уменьшается примерно на 8 %, а его КПД – на 3 % [1].

В результате износа лопаток и, как следствие, снижения компрессии происходит недопустимое увеличение температуры газов за турбиной на 50 – 60 °С, увеличивается расхода топлива на 6 – 8 %, возникает угроза возникновения помпажа, дальнейшее снижение и без того ограниченной продолжительности работы газотурбинного двигателя на предельных режимах максимала, взлета или чрезвычайного режима.

В случае эрозионного износа лопаток компрессора выше допустимых норм газотурбинный двигатель подлежит досрочному съему с эксплуатации и отправке в ремонт вне зависимости от его работоспособности.

Последствия недопустимого эрозионного износа лопаток компрессора представлены на рисунке 1.

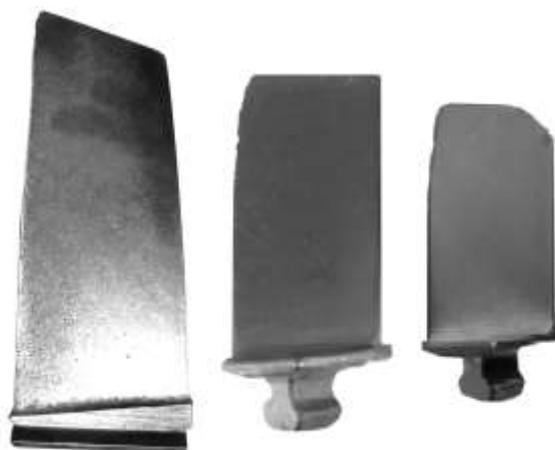


Рис. 1. Пример эрозионного износа входных и выходных кромок лопаток трех различных ступеней компрессора газотурбинного двигателя

При поступлении газотурбинного двигателя в специализированные ремонтные предприятия возникает вопрос ремонтпригодности лопаток компрессора, получивших недопустимый для дальнейшей эксплуатации эрозионный износ (повреждения).

Варианты решения проблемы – покупка лопаток первой категории взамен получивших износ либо ремонт изношенных лопаток до технического состояния, допускаемого руководящей ремонтной документацией.

Основные способы повышения износостойкости лопаток компрессора. К таковым следует отнести: замену материала лопаток на более твердые марки сталей, механическое упрочнение материала галтовкой, нанесение износостойких покрытий.

Замена материала устанавливается только разработчиком изделия, что в процессе эксплуатации газотурбинных двигателей происходит редко. Два других способа широко применяются на специализированных ремонтных предприятиях.

Поставленная задача по исследованию и решению. Пример износа поступающих в ремонт лопаток приведен на рисунке 2.

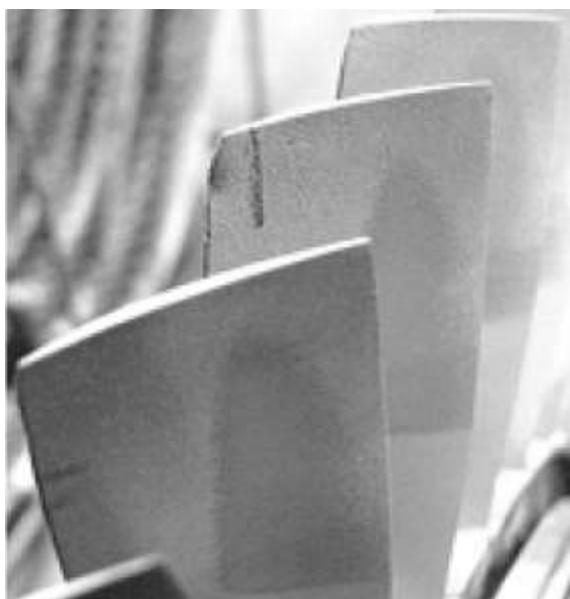


Рис. 2. Пример эрозионного износа лопаток компрессора. Входная кромка лопатки слева. Поверхность желтого цвета на пере лопаток – остатки защитного противозэрозионного покрытия

Одним из способов ремонта лопаток, согласно требованиям руководящей ремонтной документации и новым разработкам технологий, является гальваническое травление [2]. Однако, в случае остатков покрытий такая обработка чревата разъемлением оголенного металла одновременно с остатками покрытия, если лопатки поступают в ремонт с таким износом, как на рисунке 2.

Другим способом является ручное частичное или механизированное полное снятие покрытия. В обоих случаях требуется достижение 9-го класса чистоты полировки поверхности ремонтируемой лопатки, не ниже. [3]

Механообработка лопаток на станках ЧПУ предполагает запрограммированный проход по сложной геометрии пера лопатки сначала обдирочными, а потом полировальными кругами [4], что редко приемлемо для тех производств, где ремонтной технологией не предусматривается наличие оборудования, способного повторять профиль лопатки.

Решением является ручное снятие обдирочными кругами изношенного слоя покрытия и основного материала лопатки с их последующей полировкой под новое нанесение защитных слоев. При этом требуется мастерство исполнителя не допускать пережогов краев лопатки или ее утончение (см. рисунок 3).



Рис. 3. Пример пережога лопатки в процессе удаления однослойного и многослойного защитного покрытия без контрольного цветового отличия слоев

Предлагаемое решения проблемы снижения брака при ручном ремонте лопаток состоит в контрастной визуализации слоев защитного покрытия, что позволяет своевременно уменьшать (варьировать) ручную силу приложения обработки лопатки при визуальном достижении нижнего контрольного слоя противозэрозионной защиты.

Авиационными предприятиями применяются различные эрозионно стойкие покрытия. Циркониевый нитрид титана $TiZrN$ имеет характерную светлую окраску желтовато-золотистого цвета, нитрид титана TiN – характерный цвет золота, более темный. Предлагаемое чередование трех слоев (лопатка + $TiZrN$ + TiN + $TiZrN$) дает полировщику визуальный контроль, какой слой находится в зачистке, и как скоро последует основной материал лопатки.

Таким образом, в процессе снятия или обработки изношенного покрытия исполнитель получает возможность контролировать процесс ручной обработки поверхности лопатки и остатков ее покрытия по проявлению того или иного оттенка «золота».

Результаты работ по исследованию. Ручная обработка лопатки на станке типа полировальная

бабка с тремя слоями разных оттенков представлена на рисунке 4.



Рис. 4. Обработка лопатки с визуализацией контролируемых цветов покрытий

В данном случае защитные слои в эксплуатации местами стёрты полностью, местами остались.

В процессе проведения исследовательских работ на базе Луганского АРЗ получившие эрозийные повреждения поверхности компрессорных лопаток (газотурбинный двигатель ТВ3-117) выровнены и отполированы, а контраст цветов темного и светлого оттенков оставшихся местами трех слоев покрытий $TiZrN + TiN + TiZrN$ позволили исполнителю работ своевременно контролировать приближение к основному материалу лопатки и избегать недопустимых пережогов и утончения пера лопатки.

Визуализация процесса исследовательских работ представлена на рисунке 5.



Рис. 5. Ремонт лопатки компрессора с остатками нитрид титановых покрытий

Выводы. 1. Для увеличения износостойкости лопаток целесообразно применять как минимум три слоя чередования различных противоэрозионных покрытий (имеющих несколько цветовых оттенков).

2. Для компрессорных лопаток газотурбинного двигателя из материала ВТ8 (вертолетные двигатели семейства ТВ3-117 и ВК-2500) оптимальным является трехслойный композитный слой на основе нитрид титана: $TiZrN + TiN + TiZrN$.

Возможно применение большего количества слоев.

3. Предложенный вариант покрытия позволяет уменьшить брак в процессе ремонта лопаток, возникающий вследствие возможного пережога краев пера лопатки или недопустимого утончения лопатки из-за неосторожного съема излишков металла в процессе обработки изношенного противоэрозионного покрытия.

Л и т е р а т у р а

1. Закономерности изнашивания рабочих лопаток компрессора вертолетных двигателей, эксплуатирующихся в условиях запыленной атмосферы : Технология производства и ремонта / Д. В. Павленко, Я.В. Двирник // Журнал «Вестник двигателестроения». - 2016. - № 1. - С. 44-46.

2. Патент РФ № 2081207, C23F 1/44, 1/26. Состав для удаления покрытий из нитрида титана с поверхности деталей из титановых сплавов / А.А. Бабин, Р.Р. Невьянцева, П.В. Тарасов, Е.В. Парфенов; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», RU 2396372. - 1997 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/239/2396372.html>.

3. Технические условия на подготовку Луганским АРЗ для ЧП «Технополис», Донецкий национальный технический университет, лопаток компрессора двигателя ТВ3-117 под нанесение покрытия нитрида титана TiN : утв. ГП «ЛАРЗ» и ЧП «Технополис» – Луганск. – 2009. – 2 с.

4. Михайлов А. Н. Особенности восстановления лопаток ГТД с эрозийно-коррозионными разрушениями вакуумных ионно-плазменных покрытий [Электронный ресурс] / А. Н. Михайлов, Д. А. Михайлов, А. П. Недашковский – Донецк: ДонНТУ. - 2011. - Режим доступа: <http://masters.donntu.org/m2016/fimm/tolstykhl/library/articles/article5.pdf>

R e f e r e n c e s

1. Patterns of wear of rotor blades for helicopter engines operated in dusty atmospheres: Production technology and repair / D. V. Pavlenko, Y. V. Dvirnik // Journal «Dvigatlestroeniya». - 2016. - № 1. - p. 44-46.

2. Patent of RF № 2081207, C23F 1/44, 1/26. Composition for removing coatings from titanium nitride from the surface of parts from titanium alloys / A. A. Babin, R. R. Nevyantseva, P. V. Tarasov, E. V. Parfenov; patentee State educational institution of higher professional education «Ufa State Aviation Technical University», RU 2396372. - 1997 [Electronic resource] - Access mode: <http://www.findpatent.ru/patent/239/2396372.html>.

3. Specifications for the preparation of the Lugansk ARP for the State of emergency «Technopolis», Donetsk National

Technical University, of the TV3-117 engine compressor blades for the coating of titanium nitride TiN: approved. SE «LARP» and PE «Technopolis» - Lugansk. - 2009. - 2 p.

4. Mikhailov A. N. Features of the restoration of GTE blades with erosion-corrosion damage of vacuum ion-plasma coatings [Electronic resource] / A. N. Mikhailov, D. A. Mikhailov, A. P. Nedashkovsky - Donetsk: DonNTU. - 2011. - Access mode: <http://masters.donntu.org/m2016/fimm/tolstykh/library/articles/article5.pdf>

**Bykadorov V.V., Danileychenko A.A.,
Lyubchenko D.I.**

**PROBLEMTICS OF REPAIR OF GTE COMPRESSOR
BLADES WITH PROTECTIVE COATINGS BASED ON
TITANIUM NITRIDE**

Providing intake of compressed air in the combustion chamber, requirements directed to achievement of safety of flights are imposed to the compressor of the turbine jet.

Reliability of operation of the compressor is reached by mechanical air purification before an input in the compressor and drawing protecting covers on blades. Both ways are rather well fulfilled, continue to be improved. However to repair of blades with a protecting cover of attention it is practically not given. In work the research on repair of blades with the antierosion covering which received wear in use is presented. Justification of the offered option of drawing such covering in terms of maintainability of the blades which received abrasive wear in use of the turbine jet is given.

Key words: turbine jet, compressor blades, titanium nitride, repair

Быкадоров Вадим Викторович, кандидат технических наук, доцент, директор института транспорта и логистики ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Bykadorov Vadim Viktorovich, candidate of technical sciences, a docent, director of the institute of transport and logistics, State Educational Establishment Of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Данилейченко Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» института транспорта и логистики ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».
E-mail: 280376@rambler.ru

Danileichenko Alexandr Anatolievich, candidate of technical sciences, a docent, head of the department «Internal combustion engines», State educational establishment of higher professional education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: 280376@rambler.ru

Любченко Дмитрий Иванович, ассистент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» института транспорта и логистики ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: vottako@rambler.ru

Lyubchenko Dmitriy Ivanovich, assistant of the department «Internal combustion engines», State Educational Establishment Of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: vottako@rambler.ru

Рецензент: Куликов Юрий Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 26.02.2019

УДК 629.113.004

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА ГРУЗОВЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Верительник Е.А., Панайотов К.К., Таращанский М.Т.

THE RESULTS OF APPLYING THE METHODOLOGY FOR DETERMINING SPARE PARTS FOR TRUCK TRANSPORT COMPANIES

Veritelnik E.A., Panayotov K.K., Tarashchanskii M.T.

Рассматривается повышение эффективности работы автотранспортных предприятий путем формирования склада запасных частей автотранспортного предприятия. Нерациональное формирование склада запасных частей зачастую приводит к простоям подвижного состава в ожидании доставки запасных частей. Предлагается введение критерия хранения детали на складе на основе коэффициента технической готовности, как одного из основных качественных показателей работы предприятия. Приводятся результаты применения методики формирования склада запасных частей на основе предлагаемого критерия.

Ключевые слова: запасные части, время простоя, материально-техническое снабжение.

Введение. Эффективность работы автотранспортного предприятия обеспечивается подвижным составом, способным бесперебойно выполнять транспортную работу. Простой автомобилей может быть вызван разными причинами организационного и технического характера [1]. Одной из подсистем управления работой автопредприятия, требующей финансовых средств, является подсистема управления материально-техническим обеспечением подвижного состава запасными частями и расходными материалами. Расходы на обеспечение подвижного состава запасными частями могут достигать 30% от всех расходов предприятия [2, 3].

Решение вопроса оптимизации номенклатуры и количества запасных частей на автотранспортных предприятиях является одним из основных направлений повышения технической готовности подвижного состава и управления финансами [4].

Своевременность обеспечения запасными частями оказывает влияние на готовность подвижного состава к работе. Наличие складского запаса деталей требуемой номенклатуры на автопредприятии минимизирует простой техники в ремонте [7, 8].

Влияние качества поставок запасных частей показано в [9]. Так, например, время простоя зарубежной сельхозтехники в ремонте составляет 4,24%, от общего времени с учетом времени доставки запасных частей, что вызывает увеличение времени простоя и, соответственно, убытков.

Изложение основных материалов. В современных условиях высоких цен на запасные части и развития логистики, хранение большого количества наименований запасных частей на складе автопредприятия представляется нецелесообразным. В таких условиях перечень деталей на складе минимизируется и заказ запасных частей производится зачастую по факту возникновения отказа. Определение номенклатуры и количества запасных частей, закупаемых на склад, является важной задачей, влияющей на эффективность и сроки проведения ремонтных работ.

Для принятия решения о выборе типа детали для хранения было рассмотрено произведение:

$$\mu_i = p_i t_{i, \text{ожидан}}, \quad (1)$$

где p_i – вероятность отказа i -ой детали за некоторый промежуток, выраженный в тех же единицах, что и $t_{i, \text{ожидан}}$.

Основным качественным показателем работы автотранспортного предприятия является коэффициент технической готовности подвижного состава, который определяется как отношение времени исправной работы автомобиля к сумме времени исправной работы и вынужденных простоев автомобиля, взятых за один и тот же период:

$$k_i = \frac{t_{\text{работ}}}{t_{\text{работ}} + t_{\text{ремонт}}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{рабоч}}$ – время нахождения автомобиля в рабочем состоянии, ч; $t_{\text{ремонт}}$ – время нахождения автомобиля в ремонте, ч.

Коэффициент готовности считают допустимым, если он удовлетворяет условию $k \geq 0,86$. Тогда из (1) с учетом (2) следует:

$$\mu_i \leq \frac{p_i(0,14t_{\text{рабоч}} - 0,86t_{\text{ремонт}}^*)}{0,86} \tag{3}$$

Таким образом, если для некоторого значения $i=1,2,\dots,n$ выполнено условие (3), то деталь i -го типа не нуждается в хранении на складе.

Кроме того, это неравенство должно быть справедливо, если откажет i -ая деталь хотя бы у одного из автомобилей данного типа. Значит, условие, при котором i -ую деталь не нужно хранить на складе при наличии N автомобилей данного типа, имеет следующий вид:

$$t_{\text{ожидан}}(1-(1-p_i)^N) \leq \frac{p_i(0,14t_{\text{рабоч}} - 0,86t_{\text{ремонт}}^*)}{0,86} \tag{4}$$

Замена неравенства (3) на неравенство (4) обусловлена тем, что поскольку $0 \leq 1-p_i \leq 1$, то $1-p_i \geq (1-p_i)^N$ для $N > 1$.

Значит, $p_i = (1-(1-p_i)^N) \leq (1-(1-p_i)^N)$.

Поэтому, если выполнено неравенство (4), то выполнено и неравенство (3) для каждого узла (детали) автомобиля.

Для упрощения записи введем обозначение $\mu_i^N = t_{\text{ожидан}}(1-(1-p_i)^N)$. Тогда неравенство (4) приобретает вид:

$$\mu_i^N \leq \frac{p_i(0,14t_{\text{рабоч}} - 0,86t_{\text{ремонт}}^*)}{0,86} \tag{5}$$

Неравенство (5) представляет собой условие, при выполнении которого деталь i -го типа не нуждается в хранении на складе при наличии N автомобилей данного типа. Граничное значение величины μ_i определит необходимость постоянного наличия i -ой запасной части на складе.

На практике $t_{\text{рабоч}}$ во много раз больше $t_{\text{ремонт}}^*$ и потому правая часть неравенства (5) всегда положительна.

Данная методика позволяет определить перечень деталей, которые необходимо закупать и хранить на складе автотранспортного предприятия. Количество этих деталей определяется согласно [10].

Результаты исследований. Был проведен натурный эксперимент в грузовых автотранспортных предприятиях с подвижным составом, представленным автомобилями Mercedes-Benz Actros 1844 LS и Volvo FH 1242. В ходе эксперимента проводился анализ работы склада запасных частей. Так в 2016 г., для автомобилей обеих марок производилась закупка большего количества запасных частей, чем использовалось в процессе осуществления ремонтных работ. Количество запасных частей для автомобилей Mercedes-Benz закупалось в диапазоне 100 – 120 единиц (рисунок 1, а). Диапазон реально использованных деталей составил: от 50 в январе и апреле, до 100 единиц в сентябре. Это связано и с сезонностью, и с особенностью ремонтов автомобилей, осуществляющих международные перевозки, которые не имеют возможности регулярно посещать зону ремонта.

Такая стратегия формирования складского фонда запасных частей приводит к замораживанию оборотных средств предприятия и, в итоге, – к недополученной прибыли. Аналогичная ситуация наблюдалась и для автомобилей Volvo. Здесь закупалось от 60 до 80 единиц запасных частей, тогда как число замен колебалось от 10 в апреле и июле, до 50 в феврале. В осенне-зимний период число замен начало возрастать в декабре превысило число закупок, достигнув 89 единиц (рисунок 1, б).

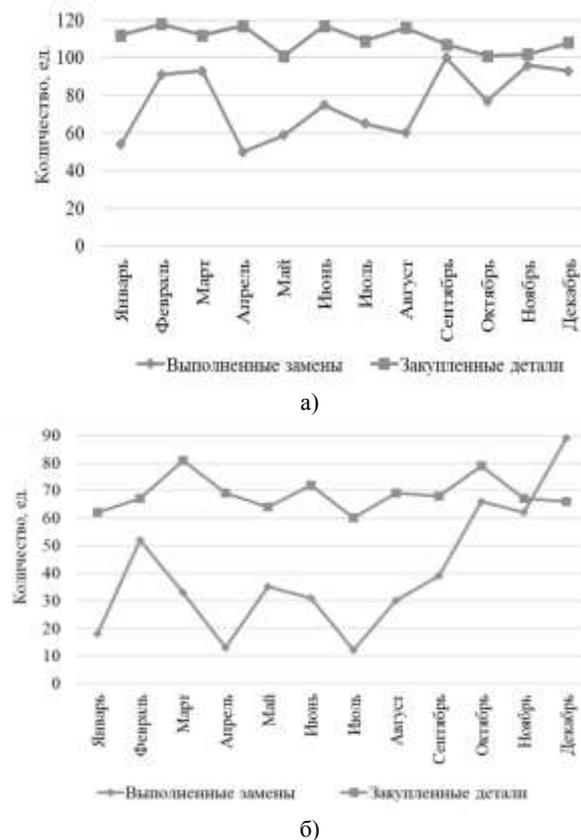


Рис. 1. Использование запасных частей в 2016 г. а) Mercedes-Benz Actros 1844 LS; б) Volvo FH 1242

После применения разработанной методики в 2017 г., соотношение закупленных запасных частей и используемых в ремонте изменилось. В связи с тем, что учитывался пробег и вероятности отказов, уменьшилось расхождение междукупаемыми и устанавливаемыми запасными частями. Однако, если рассматривать по месяцам, то для автомобилей обеих марок наблюдаются периоды, когда количество выполненных замен превышает число закупленных запасных частей, но это значение не превышает 10 единиц (рисунок 2, а, б). Также наблюдается периодичность спадов и увеличений производимых работ, равная в среднем трем – четырем месяцам, и такая закономерность наблюдается и по данным 2016 г., и особенно это видно по данным 2017 г. Причина таких колебаний связана как с неравномерностью пробега по месяцам, так и с сезонными изменениями.

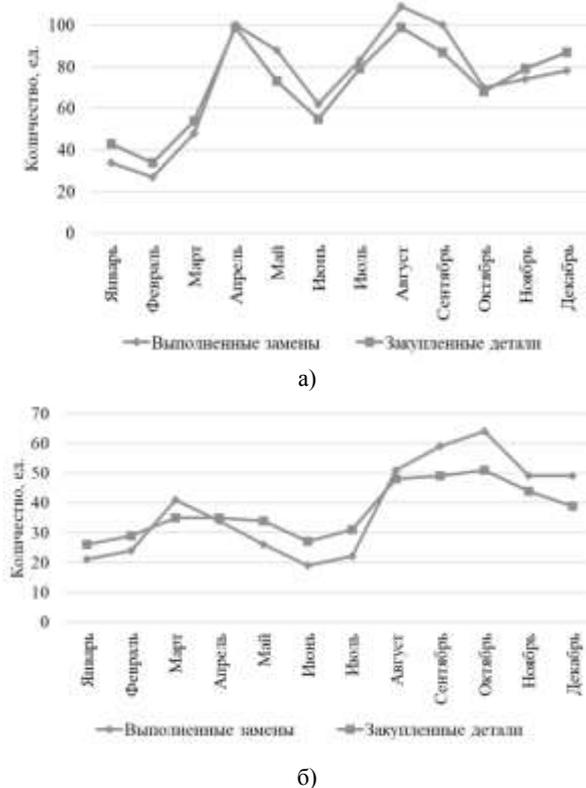


Рис. 2. Использование запасных частей в 2017 г.
а) Mercedes-Benz Actros 1844 LS; б) Volvo FH 1242

Для сравнительного анализа средних расходов на один автомобиль и изменения работоспособности подвижного состава использовались контурные диаграммы. На рисунке 3а (Mercedes-Benz) можно отметить область максимального скопления автомобилей с коэффициентом технической готовности 0,8 – 0,82. При этом средние ежемесячные расходы находятся в диапазоне от 6000 до 8000 руб. Для Volvo коэффициенты несколько выше 0,81 – 0,84, при средних расходах – от 5000 до 9000 руб. рисунок 3, б).

С точки зрения эффективности организации склада и использования оборотных средств были определены расходы, возникшие в результате замораживания средств, потраченных на закупку запасных частей, которые не были использованы в процессе ремонта в рассматриваемый период. Так за 2016 г. для автомобилей Mercedes-Benz средняя сумма таких расходов составила более 185 тыс. руб., для Volvo – 315 тыс. руб. Общая сумма замороженных средств за 2016 год превысила 6 млн. руб.

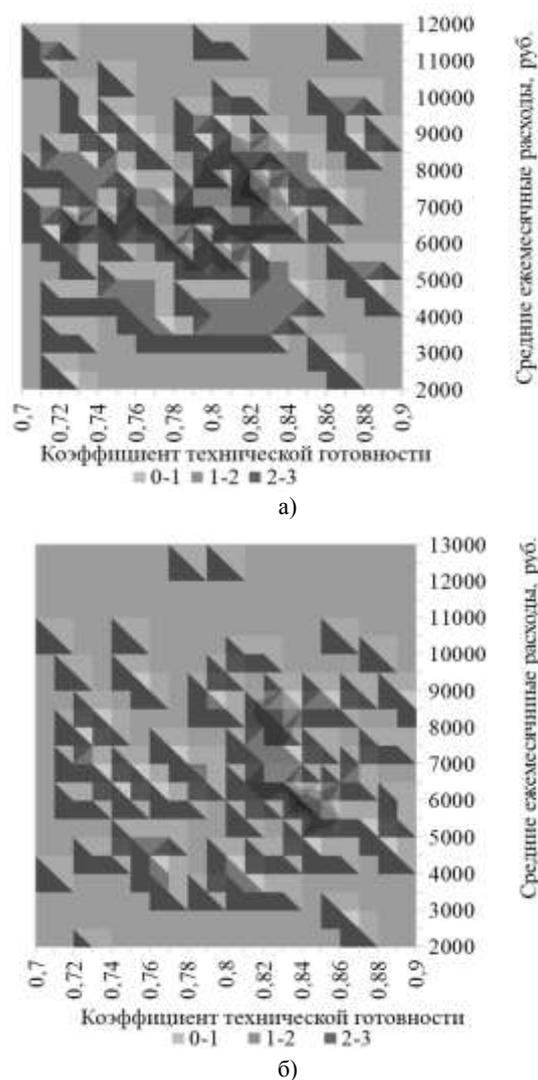


Рис. 3. Изменение коэффициента технической готовности в зависимости от расходов на запасные части в 2016 г.
а) Mercedes-Benz Actros 1844 LS; б) Volvo FH 1242

В 2017 году ситуация кардинально поменялась в связи с применением предлагаемой методики закупки. Так средняя сумма средств неиспользованных запасных частей Mercedes-Benz – 36817 руб., Volvo – 45462 руб. В такие месяцы, как май, июнь, сентябрь, складывались ситуации, когда замороженных запасных частей не было для автомобилей Mercedes-Benz, а в октябре – для

запасных частей автомобилей Volvo. Общая сумма замороженных средств по итогам 2017 года составила 987348 руб., что фактически в шесть раз меньше, чем в предыдущий 2016 год.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют об экономической эффективности применения методики определения потребности в запасных частях деталей с учетом времени доставки, стоимости и вероятностей отказов деталей. Что подтверждает необходимость практической реализации этого резерва повышения экономической эффективности автомобильного предприятия.

Анализ работы предприятия за 2016 год показал низкое значение коэффициента технической готовности. Автомобили простаивали по 6-10 дней в ожидании запасных частей. За год проведения эксперимента коэффициент технической готовности автомобильного парка автопредприятия увеличился на 7%.

Л и т е р а т у р а

1. Согомонова, Н.А. Экономический механизм повышения эффективности работы автотранспортного предприятия: дис. ... канд. эконом. наук: 08.07.04 / Согомонова Надежда Аваковна. – Харьков, 2006. – 189 с.
2. Кравченко, А.П. Мониторинг расхода запасных частей автомобилей-тягачей VOLVO FH 1242 / А.П. Кравченко, Е.А. Верительник // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сборник научных работ. Серия: Автомобиле- и тракторостроение. – Харьков. – 2014. – № 9 (1052) – С. 33 – 38.
3. Кравченко, А.П. Формирование номенклатуры и количества запасных частей на предприятиях автомобильного транспорта / А.П. Кравченко, Е.А. Верительник // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 19-21 жовтня 2015 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця. – 2015. – С.115-117.
4. Шрайбфедер, Дж. Эффективное управление запасами / Джон Шрайбфедер; пер. с англ. – 2-ое изд. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 304 с.
5. Гамбаль, М.Ю. Оптимизация потребности запасных частей большегрузных автосамосвалов на карьерах Севера: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / М.Ю. Гамбаль. – Иркутск, 2006. – 141 с.
6. Вольф, А.К. Совершенствование обеспечения системы технического сервиса лесных машин запасными частями: На примере ОАО «КРАСЛЕСМАШ»: дис.... канд. техн. наук: 05.21.01 / А.К. Вольф. -Москва, 2006. – 125 с.
7. Корниец, Т.Е. Система управления надежностью парка портового перегрузочного оборудования при переменных эксплуатационных режимах: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Корниец Татьяна Евгеньевна. – Одесса, 2011. – 158 с.
8. Козловский, В.Н. Обеспечение качества и надежности системы электрооборудования автомобилей: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.09.03 / Козловский Владимир Николаевич. – Тольятти, 2010. – 440 с.
9. Дидманидзе О.Н. Обеспечение надежности

техники путем проведения комплексной оценки качества поставок запасных частей при организации технического сервиса / О.Н. Дидманидзе, Б.С. Дидманидзе, В.В. Варнаков, Д.В. Варнаков, Е.А. Варнакова, Л.Л. Хабиева // Международный технико-экономический журнал. – 2014. – № 5. – С. 31–40.

10. Верительник, Е.А. Оптимизация склада запасных частей автотранспортного предприятия с учетом финансовых возможностей предприятия / Е.А. Верительник // Отраслевой ежемесячный научно-производственный журнал «Автотранспортное предприятие». – 2016. – № 8. – С. 51 – 54.

R e f e r e n c e s

1. Sogomonova, N.A. Jekonomicheskij mehanizm povyshenijaj effektivnosti raboty avtotransportnogo predprijatija: dis. ... kand. jekonom. nauk: 08.07.04 / SogomonovaNadezhdaAvakovna. – Har'kov, 2006. – 189 s.
2. Kravchenko, A.P. Monitoring rashoda zapasnyh chastej avtomobilej-tjagachej VOLVO FH 1242 / A.P. Kravchenko, E.A. Veritel'nik // Vestnik Nacional'nogo tehničeskogo universiteta "HPI". Sbornik nauchnyh rabot. Serija: Avtomobile- i traktorostroenie. – Har'kov. – 2014. – № 9 (1052) – S. 33 – 38.
3. Kravchenko, A.P. Formirovanie nomenklatury i kolichestva zapasnyh chastej na predprijatijah avtomobil'nogo transporta / A.P. Kravchenko, E.A. Veritel'nik // Materiali VIII mizhnarodnoї naukoivo-praktičnoї konferencії «Suchasni tehnologii ta perspektivi rozvitku avtomobil'nogo transportu», 19-21 zhovtnja 2015 roku: zbirnik naukovih prac' / Ministerstvo osviti i nauki Ukraїni, Vinnic'kij nacional'nij tehničnij universitet [tainsh.]. – Vinnica. – 2015.–S.115-117.
4. Shrajbfeder, Dzh. Jeffektivnoe upravlenie zapasami / Dzhon Shrajbfeder; per. s angl. – 2-oe izd. – M.: Al'pina Biznes Buks, 2006. – 304 s.
5. Gambal', M.Ju. Optimizacija potrebnosti zapasnyh chastej bol'shegruznyh avtosamosvalov na kar'erah Severa: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.05.06 / M.Ju. Gambal'. – Irkutsk, 2006. – 141 s.
6. Vol'f, A.K. Sovershenstvovanie obespechenija sistemy tehničeskogo servisa lesnyh mashin zapasnymi chastjami: Na primere OAO «KRASLESMASH»: dis....kand. tehn. nauk: 05.21.01 / A.K. Vol'f. -Moskva, 2006. – 125 s.
7. Korniec, T.E. Sistema upravlenija nadezhnost'ju parka portovogo peregruzochnogo oborudovanija pri peremennyh jekspluatacionnyh rezhimah: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.22.20 / Korniec Tat'jana Evgen'evna. – Odessa, 2011. – 158 s.
8. Kozlovskij, V.N. Obespečenie kachestva i nadezhnosti sistemy jelektrooborudovanija avtomobilej: dis. ... d-ra.tehn. nauk: 05.09.03 / Kozlovskij Vladimir Nikolaevich. – Tol'jatti, 2010. – 440 s.
9. Didmanidze O.N. Obespečenie nadezhnosti tehničeskogo servisa / O.N. Didmanidze, B.S. Didmanidze, V.V. Varnakov, D.V. Varnakova, E.A. Varnakova, L.L. Habieva // Mezhdunarodnyj tehničeskij jekonomičeskij zhurnal. – 2014. – № 5. – S. 31–40.
10. Veritel'nik, E.A. Optimizacija sklada zapasnyh chastej avtotransportnogo predprijatija s učetom finansovyh vozmožnostej predprijatija / E.A. Veritel'nik // Otraselevo jezhemesjachnyj nauchno-proizvodstvennyj zhurnal «Avtotransportnoe predpriatie». – 2016. – № 8. – S. 51 – 54.

**Veritelnik E.A., Panayotov K.K.,
Tarashchanskii M.T.**

**THE RESULTS OF APPLYING THE METHODOLOGY
FOR DETERMINING SPARE PARTS FOR TRUCK
TRANSPORT COMPANIES**

The increase of efficiency of work of the motor transport enterprises by formation of a warehouse of spare parts of the motor transport enterprise is considered. Irrational formation of spare parts warehouse often leads to downtime of rolling stock in anticipation of delivery of spare parts. Different items have different delivery times. It is proposed to introduce the criterion of storage of parts in the warehouse on the basis of the coefficient of technical readiness, as one of the main qualitative indicators of the enterprise. The results of the method of forming a warehouse of spare parts on the basis of the proposed criterion are presented.

Keywords: spare parts, downtime, logistics.

Верительник Евгений Анатольевич, старший преподаватель кафедры инженерных дисциплин ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: jenver@yandex.ru

Veritelnik Evgen Anatolievich, Senior lecturer in «Engineering disciplines» of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: jenver@yandex.ru

Панайотов Константин Константинович, к.т.н, доцент кафедры инженерных дисциплин ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: k.panayotov@mail.ru

Panayotov Konstantin Konstantinovich, Cand.Sci(Tech.), Associate Professor in «Engineering disciplines» of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: k.panayotov@mail.ru

Тарашанский Марк Танкумович, к.т.н., доцент кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: mark.tarashchanskii@gmail.com

Tarashchanskii Mark Tankumovich, Cand.Sci(Tech.), Associate Professor in «Applied mathematics» of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: mark.tarashchanskii@gmail.com

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленный и городской транспорт» Луганского национального университета имени Владимира Даля.

Статья подана 21.03.2019

УДК 656.21.001.2

АНАЛИЗ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНА НА ВСЕЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ ПРОФИЛЯ ПУТИ С РАЗЛИЧНЫМИ УКЛОНАМИ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Гордиенко А.А., Джалилов Х.Х.

ANALYSIS OF THE WAGON MOTION SPEED ON THE WHOLE PROTECTION OF THE PROFILE OF THE WAY WITH DIFFERENT TIES OF THE SORTING SLIDGE

Gordienko A.A., Djalilov Kh.H.

В статье для расчетов скорости движения вагона на различных участках сортировочной горки использована формула, выведенная на основе теоремы об изменении кинетической энергии для несвободной материальной точки в конечной форме. Примерами расчетов замечено, что на промежуточном участке сортировочной горки до разделительной стрелки относительная ошибка расчёта равна 10,3 %, на участке стрелочной зоны сортировочной горки второй разделительной стрелки – $\delta v_{62} \approx 9,0$ %, на участке первого сортировочного пути – $\delta v_7 \approx 16,1$ %.

Ключевые слова: Железная дорога, станция, сортировочная горка, вагон, профиль горки, результаты расчетов скорости движения вагона на различных участках горки.

Введение. Как известно [1 – 13], существующие теоретические положения горочных конструктивных и технологических расчётов проектируемых участков сортировочной горки [14 – 21] не лишены некорректностей. В [4] в целях реального учёта эксплуатационных условий работы сортировочных горок рекомендовано использовать параметры удельных сопротивлений движению w , которые отражают обобщённые характеристики современного вагонного парка и сортировочных путей. С учётом этого фактора приведена формула (2) в [4], якобы имеющая развернутый универсальный вид:

$$v_k^2 = v_n^2 + 2g'(i-w)10^{-3} \cdot l - 2g'h_T. \quad (1)$$

Ряд неточностей по этой формуле показан в литературных источниках [3, 9].

Вместе с тем, для удобства анализа представим отдельно уменьшаемые и вычитаемое в (1) в виде:

$$v_{ki}^2 = v_{ni}^2 + 2g'(i_i - w_i)10^{-3}l_i; \quad (2)$$

$$v_{kti}^2 = v_{ni}^2 - 2g'h_T, \quad (3)$$

где $v_{kti} = [v_{vxi}] = [v_{vzi}]$ – максимально допустимая скорость входа вагона на вагонные замедлители [22];

h_{Ti} – мощность тормозных позиций (согласно табл. 2 в [23] мощность тормозных средств M_{Tc}) от горба горки до парковой тормозной позиции, зависящая от типа и количества замедлителей.

Отметим [9], что формула (2) необходима для определения скорости движения вагона на скоростных участках профиля горки, а (3) – для участков тормозных позиций (ТП). Хотя, известно, что вывод формулы (2) и/или формулы (2) в [4] на основе теоремы об изменении кинетической энергии общеизвестен [12].

Однако, в уменьшаемом формулы (2) и/или (2) в [4] единица измерения уклона профиля пути i в ‰, приравнен к единице измерения удельного сопротивления движению w внесистемной единицы измерения в кгс/т (т.е. ‰ = кгс/т) [11, 12], что является недопустимым в теоретической и инженерной механике [24, 25].

Известно [18, 21, 26], что спускная часть сортировочной горки, от её вершины до расчётной точки, состоит из девяти участков. Эти участки принято называть: первый и второй скоростные участки (СК1 и СК2), первая тормозная позиция (1ТП), промежуточный участок (ПР), вторая тормозная позиция (2ТП), стрелочная зона (СЗ), первый участок сортировочного пути (СП1), парковая механизированная тормозная позиция (ЗТП) и второй участок сортировочного пути (СП2). Условно также можно выделить зону установки тормозных башмаков сортировочного парка (ЗТБ) Все участки сортировочной горки связаны между собой точкой перелома профиля (рис. 1) [26].

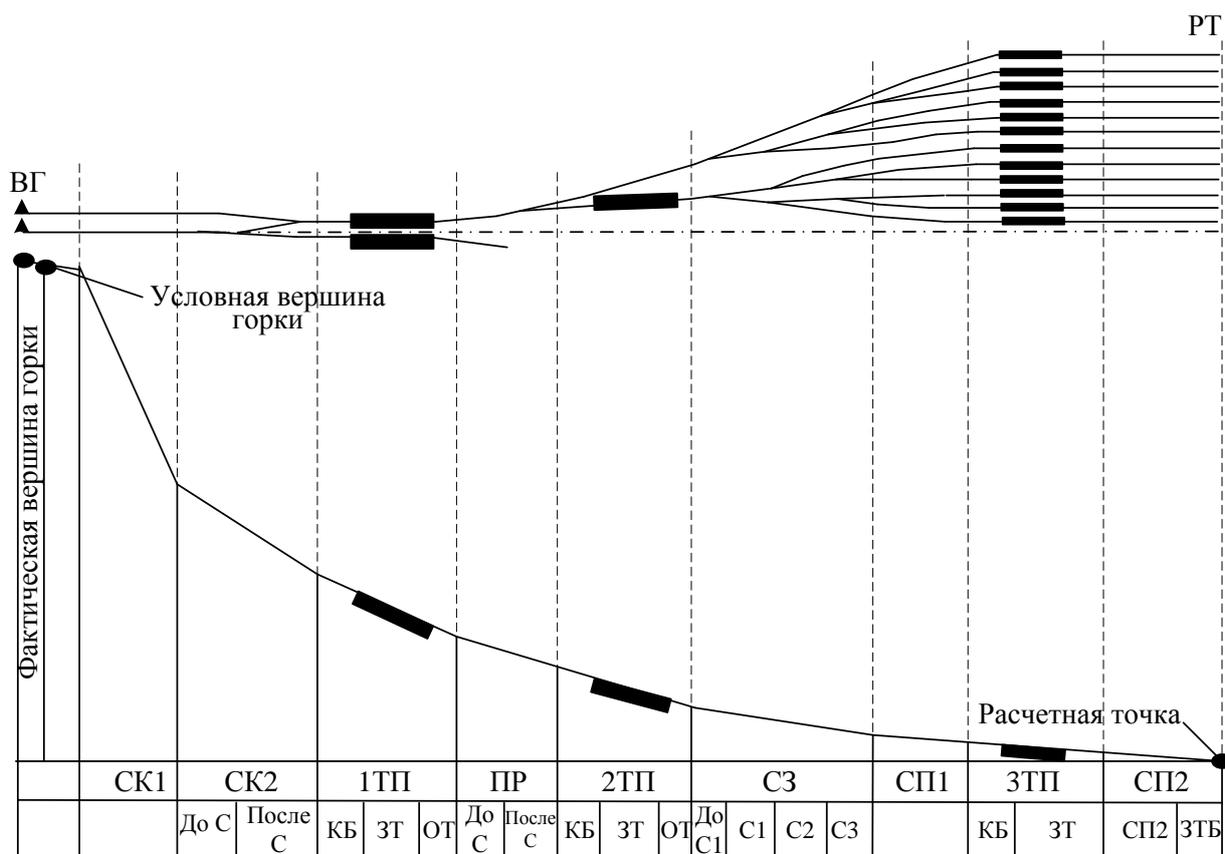


Рис. 1. Общий план и профиль спускной части сортировочной горки

На рис. 1 обозначено [26]: ВГ – вершина горки; СК1 и СК2 – первый и второй скоростные участки горки; 1ТП, 2ТП и 3ТП – первая, вторая и третья тормозные позиции горки; ПР – промежуточный участок горки; СЗ – стрелочная зона горки; СП1 и СП2 – первый и второй участки сортировочного пути; С – разделительный стрелочный перевод (стрелка), С1, С2 и С3 – первая, вторая и третья стрелки; КБ – участок учёта длины колёсной базы вагона; ЗТ – зона торможения вагона и ОТ – оставшийся участки тормозных позиции; ЗТБ – зона установки тормозных башмаков при воздействии проекции силы попутного ветра малой величины $F_{гвх}$ и учёте силы сопротивления всякого рода (среды, стрелок, кривых, снега и инея) F_c .

Для каждого участка характерны свои условия движения. Поэтому силовые соотношения, которые имеют место в системе «вагон-путь» на каждом из участков горки, различные [26, 27]. Из-за этого на каждом участке сортировочной горки вагон скатывается с разными по величине линейными ускорениями a_k (k – номера участков горки) и скоростями $v_{ek}(t_k)$ за разное время t_k , которые определены согласно основному закону динамики с неидеальной связью [24, 25] в вычислительной среде MathCAD [28]. При этом прикладную задачу по изучению движения вагона с одного участка горки на другой решали, считая, что скорость

скатывания вагона в конце одного участка v_{ek} принимают в качестве начальной для другого участка в виде v_{ok} [26, 24, 29].

Цель настоящей статьи Показать новую методику расчета скорости скатывания вагона для участков горки с малым уклоном, отличающуюся от описания движения вагона на скоростных участках горки в универсальном виде [4].

Формулировка задачи

Расчетными данными проверить применимость формулы (2), как части формулы универсального вида в [4] на различных участках сортировочной горки (кроме тормозных позиций).

Метод исследования

Практическая задача по определению скорости движения вагона по уклону сортировочной горки решена на основе теоремы об изменении кинетической энергии для несвободной материальной точки в конечной форме [24, 25].

Варианты методик выполнения горочных расчётов

Для определения предела и/или границы применимости формулы (2) в [4] без вычитаемого в ней или формулы (2) на всей протяженности профиля пути с различными уклонами ниже приводим результаты исследований по определению кинематических параметров вагона на различных участках горки. Так, например, определим скорости

движения вагона на первом промежуточном участке горки (ПР) до разделительной стрелки (С), стрелочной зоне (СЗ) второй стрелки (С2), а также на первом сортировочном пути (СП1) (рис. 1) по формуле (2), как вычитаемой формулы (2) в [4].

Методика расчёта 1. Для примера исследуем промежуточный участок (ПР) до разделительной стрелки (С) горки (рис. 1). Исходные данные для участка ПР горки таковы: $v_{н4} = 1,519$ – принятое значение скорости входа вагона на ПР участке горки после выхода вагона из зоны оттормаживания вагонного замедлителя второй тормозной позиций (2ТП), м/с; $g' = 9,635$ – ускорение свободного падения тела с учетом массы вращающихся частей, м/с²; $L_4 = 20,001$ – длина промежуточного участка, м; $i_{4Ск} = 11$ – уклон ПР участка, ‰; $F_{o4} = k_{o4}G = 0,001G = 0,908$ – сила основного сопротивления движению вагона до разделительной стрелки (С) участка ПР горки (где $k_{o4} = 0,001$ – коэффициент, учитывающий сопротивление от силы трения качения со скольжением колёсной пары при учёте попутного ветра, в то время как, $k_{o4} = \omega_{o4} = 0,5$ – основное удельное сопротивления движению очень хорошего бегуна (ОХ), кгс/тс (см. табл. 4.2 в [18]), кН; $F_{св4} = k_{св4}G = 0,0005G = 0,454$ – сила сопротивления от воздушной среды и ветра (где $k_{св4} = 0,0005$ – сопротивление от среды и ветра).

Результаты расчёта [28]. Расчёты выполним в следующей последовательности.

1) Вычислим общее удельное сопротивления движению вагона, учитываемое как безразмерная величина:

$$|w_4| = |k_{o4} + k_{св4}| = -0,0015.$$

Отметим, что скорость скатывания вагона v_4 , вычисленная по формуле элементарной физики при величине ускорение движения $a_4 = 0,128$ м/с², равна $v_4 = 2,723$ м/с.

2) Произведем расчет скорости скатывания вагона до разделительной стрелки (С) промежуточного участка (ПР) горки v_4 без учета проекции силы попутного ветра $F_{вх}$ по формуле (2), м/с.

$$v_4 = \sqrt{v_{н4}^2 + 2g'(i_4 + |w_4|)10^{-3}L_4} = \sqrt{1,519^2 + 2 \cdot 9,635(11,0 - 1,5)10^{-3} \cdot 20,0} = 2,443.$$

Относительная ошибка вычислений сравнительно с данными формулы элементарной физики составляет $\delta v_{4С} = 10,3$ ‰, что почти 2 раза превышает точность выполнения инженерных расчётов (5 ‰).

3) Выполним расчет скорости скатывания вагона до разделительной стрелки (С) промежуточного участка (ПР) горки v_{x4} по формуле (2) с учетом проекции силы попутного ветра $F_{вх}$, м/с:

$$v_{x4} = \sqrt{v_{н4}^2 + 2g'(i_{x4} + |w_4|)10^{-3}L_4} = \sqrt{1,519^2 + 2 \cdot 9,635(14,515 - 1,5)10^{-3} \cdot 20,0} = 2,706.$$

Относительная ошибка расчёта, выполненная по формулам элементарной физики, равна $\delta v_{x4С} \approx 0,6$ ‰, что ничтожно мало.

4) Интересно заметить, что, если варьировать значение начальной скорости движения вагона $v_{н4}$ в пределах от 1 до 2,0 м/с с шагом $\Delta v_{н4} = 0,125$ при $w_4 = 1,5$ (безразмерная величина) и $i_4 = 11$ ‰, то значение скорости скатывания вагона на расчётном участке $v_{4Ск}$ увеличивается с 2,159 по 2,768 м/с.

Графическое изменение $v_4 = f(v_{н4})$ представлено на рис. 2.

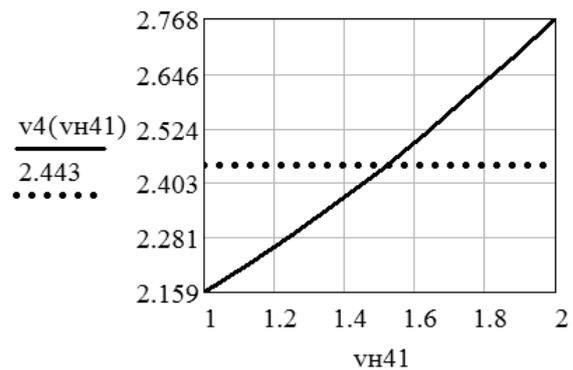


Рис. 2. Графическое изменение $v_{4С} = f(v_{н4})$

Отметим, что, если даже варьировать значение удельного сопротивления движению вагона w_4 в пределах от 0,5 до 3,0 (безразмерная величина) с шагом $\Delta w_4 = 0,25$ при $v_{н4} = 1,529$ м/с и $i_{4С} = 11$ ‰, то значение скорости скатывания вагона на расчётном участке $v_{4Ск}$ уменьшается с 2,521 по 2,322 м/с.

Графическое изменение $v_{41} = f(w_{4С})$ представлено на рис. 3.

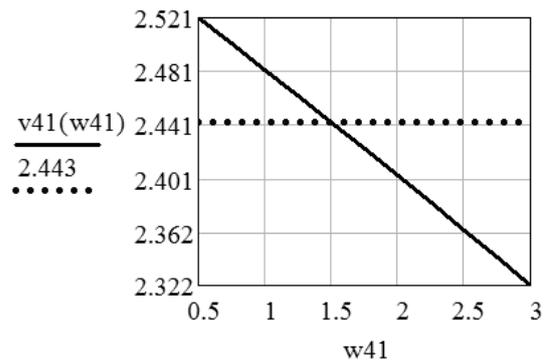
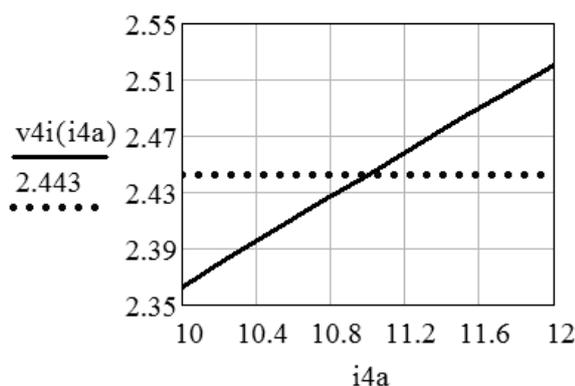


Рис. 3. Графическое изменение $v_{41} = f(w_4)$

Если же варьировать значение уклона пути i_4 в пределах от 10,0 до 12,0 с шагом $\Delta i_4 = 0,25$ ‰ при $v_{н4} = 1,529$ м/с и $w_4 = 1,5$ (безразмерная величина), то значение скорости скатывания вагона на расчётном участке v_4 увеличивается с 2,363 по 2,521 м/с.

Графическое изменение $v_{4i} = f(i_4)$ представлено на рис. 4.

Рис. 4. Графическое изменение $v_{4i} = f(i_{4a})$

Выводы по методике 1: на промежуточном участке (ПР) сортировочной горки до разделительной стрелки (С) относительная ошибка расчёта, выполненная по формулам (2) сравнительно с точной формулой элементарной физики, равна $\delta v_4 \approx 10,3\%$, что почти в 2 раза превышает точности инженерных расчётов ($\approx 5\%$).

Погрешность предложенной методики не превышает $\approx 5\%$.

Методика расчёта 2. Для примера расчёта исследуем участок стрелочной зоны (СЗ) после второй стрелки (С2) (рис. 1). Исходные данные участка СЗ таковы: $G = 650$ – сила тяжести груза на вагоне, кН; $G_0 = 908$ – сила тяжести вагона с грузом, кН; $\sin\psi_{6c2} = 0,002$ и $\cos\psi_{6c2} = 1,0$ или $i_{6c2} = 2\text{‰}$ – уклон профиля пути СЗ горки, рад.; $g' = 9,635$ – ускорение свободного падения тела с учетом массы вращающихся частей, вычисленное с относительной ошибкой расчёта $\delta g \approx 0,184\%$ при $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, $n = 4$ шт., $Q = G_0 = 92,56$ тс и/или $G = 908$ кН (согласно табл. 4.2 в [18] – это очень хороший бегун (ОХ)), $\gamma = 0,00185$ (см. стр. 183 в [11]), м/с^2 ; $l_{6c2} = 21,0$ – длина участка СЗ после второй стрелки (С2), м; $v_{н6c2} = 2,654$ – принятое значение скорости входа вагона на участок СЗ после второй стрелки (С2) горки после выхода вагона из первой разделительной стрелки (С1) этой зоны, м/с ; $F_{06c2} = k_{06c2}G = 0,001G = 0,908$ – сила основного сопротивления движению вагона на участке второй стрелки (С2) СЗ горки (где $k_{06c2} = 0,001$ – коэффициент, учитывающий сопротивление от силы трения качения со скольжением колёсной пары при учёте попутного ветра малой величины $F_{вх} \approx 3,2$ кН), кН; $F_{стр} = k_{стр}G = 0,00025G = 0,227$ – сила сопротивление при перехода кривых участков пути (где $k_{стр} = 0,00025$ – сопротивление от стрелок), кН; $F_{кр6c2} = k_{кр6c2}G = 0,0002463G = 0,224$ – сила сопротивление при перехода кривых участков пути (где $k_{кр6c2} = 0,0002463$ – сопротивление от кривых), кН; $F_{св} = k_{св}G = 0,0005G = 0,454$ – сила сопротивление от воздушной среды и ветра (где $k_{св} = 0,0005$ – сопротивление от среды), кН; $F_{сн} = k_{сн}G = 0,00025G = 0,227$ – сила сопротивление от воздушной среды и ветра (где $k_{сн} = 0,00025$ – сопротивление от среды), кН.

Результаты расчёта [28]. 1) Вычислим общее удельное сопротивления движению вагона:

$$|w_{6c2}| = |k_{06c2} + k_{стр} + k_{кр6c2} + k_{св} + k_{сн}| = \\ = - (0,001 + 0,00025 + 0,0002463 + 0,0005 + 0,00025) = - 0,002246.$$

Приводим результаты расчёта скорости движения вагона по формулам элементарной физики, возможность применения которых аналитически доказаны в [27] (см. формулы (16), (19) – (20)).

Подсчитаем время движения вагона при начальной скорости и/или скорости входа вагона на исследуемый участок СЗ горки $v_{н6c2} = 2,654 \text{ м/с}$ и ускорение $a_{6c2} = 0,032 \text{ м/с}^2$ при равноускоренном движении с учетом проекции силы попутного ветра $F_{вх}$: $t_{6c2} = 7,567 \text{ с}$.

Вычислим скорость скатывания вагона с учетом проекции силы попутного ветра $F_{вх}$ при $v_{н6c2} = 2,654 \text{ м/с}$, $a_{6c2} = 0,032 \text{ м/с}^2$ и $t_{6c2} = 7,567 \text{ с}$:

$$v_{6c2} = 2,897 \text{ м/с} \text{ и/или } v_{6c2} \approx 10,43 \text{ км/ч}.$$

2) Выполним расчет скорости скатывания вагона после разделительной стрелки (С2) участка СЗ горки по формуле (2) без учета проекции силы попутного ветра $F_{вх}$, м/с :

$$v_{6c2} = \sqrt{v_{н6c2}^2 + 2g'(i_{6c2} + |w_{6c2}|)10^{-3}l_{6c2}} = \\ = \sqrt{2,654^2 + 2 \cdot 9,635(2 - 2,2246)10^{-3}21,0} = 2,635.$$

Здесь полученный результат расчёта $v_{6c2} = 2,635 \text{ м/с}$ меньше, чем начальная скорость $v_{н6c2} = 2,654 \text{ м/с}$, поскольку $|w_{6c2}| > i_{6c2}$.

Относительная ошибка расчёта, выполненная по формулам (2) и по формулам элементарной физики [27], равна $\delta v_{6c2} \approx 9,0\%$, что не мало, т.е. почти в 2 раза превышает пределы точности инженерных расчётов (5%).

Если за основное удельное сопротивление движению, согласно табл. 4.2 в [18], принять $\omega_{01} = 0,5 \text{ кгс/тс}$ для очень хорошего бегуна (ОХ), то скорость скатывания вагона v_{6c20} после разделительной стрелки (С2) на участке СЗ, м/с :

$$v_{6c20} = \sqrt{v_{н6c2}^2 + 2g'(i_{6c2} + |w_{6c20}|)10^{-3}l_{6c2}} = \\ = \sqrt{2,654^2 + 2 \cdot 9,635(2 - 0,5)10^{-3}21,0} = 2,766.$$

Заметим, что при расчёте v_{10} значения ω_{01} приняли без изменения, т.е. $\omega_{01} = 0,5 \text{ кгс/тс}$.

Относительная ошибка расчёта, выполненная по формулам (2) и по формулам элементарной физики, равна $\delta v_{6c20} \approx 4,51\%$, что мало.

Произведем расчет скорости скатывания вагона после разделительной стрелки (С2) участка СЗ горки по формуле (2) с учетом проекции силы попутного ветра $F_{вх}$, м/с :

$$v_{6c2b} = \sqrt{v_{n6c2}^2 + 2g'(i_{x06c2} + |w_{6c2}|)10^{-3}l_{6c2}} = \sqrt{2,654^2 + 2 \cdot 9,635(5,15 - 2,2246)10^{-3}21,0} = 2,893.$$

Относительная ошибка расчёта, выполненная по формулам (2) и по формулам элементарной физики, равна $\delta v_{6c2b} \approx 0,14 \%$, что ничтожно мало.

Выводы по методике 2: на участке стрелочной зоны (С3) сортировочной горки второй разделительной стрелки (С2) относительная ошибка расчёта скорости движения вагона, выполненная по формулам (2) и по формулам элементарной физики, равна $\delta v_{6c2} \approx 9,0 \%$, что почти в 2 раза превышает точности инженерных расчётов ($\approx 5 \%$). Именно по этой причине считаем неубедительность применения при горочных расчётах формулы (2), как части формулы (2) (без некорректно включенного вычитаемого) в [4].

Методика расчёта 3. Исследуем участок первого сортировочного пути (СП1) горки (рис. 1). Исходные данные участка СП1 таковы: $v_{n7} = 3,154$ – принятое значение скорости входа вагона на участок СП1 горки после выхода вагона из стрелочной зоны (С3), м/с; $g' = 9,635$ – ускорение свободного падения тела с учетом массы вращающихся частей, м/с²; $l_7 = 59,18$ – длина участка СП1 горки, м; $i_7 = 1,6$ – уклон участка СП1 горки, ‰; $F_{o7} = k_{o7}G = 0,001G = 0,908$ – сила основного сопротивления движению вагона на участке СП1 горки (где $k_{o7} = 0,001$ – коэффициент, учитывающий сопротивление от силы трения качения со скольжением колёсной пары при учёте попутного ветра $F_{вк}$), кН; $F_{кр7} = k_{кр7}G = 0,00067G = 0,061$ – сила сопротивления при переходе кривых участков пути (где $k_{кр7} = 0,00067$ – сопротивление от кривых), кН; $F_{св} = k_{св}G = 0,0005G = 0,454$ – сила сопротивления от воздушной среды и ветра (где $k_{св} = 0,0005$ – сопротивление от среды), кН; $F_{сн} = k_{сн}G = 0,00025G = 0,227$ – сила сопротивления от воздушной снега и инея (где $k_{сн} = 0,00025$ – сопротивление от снега и инея), кН.

Результаты расчёта [28]. 1) Подсчитаем общее удельное сопротивление движению вагона по формуле:

$$|w_7| = |k_{o7} + k_{кр7} + k_{св} + k_{сн}| = - (0,001 + 0,000067 + 0,0005 + 0,00025) = -0,001817.$$

2) Скорость скатывания вагона v_7 на участке СП1 горки, вычисленная по формуле элементарной физики [27] при заданных исходных данных задачи, равна: $v_7 = 3,711$ м/с.

3) Осуществим расчет скорости скатывания вагона на участке СП1 горки по формуле (2) без учета проекции силы попутного ветра $F_{вк}$, м/с:

$$v_7 = \sqrt{v_{n7}^2 + 2g'(i_7 + |w_7|)10^{-3} \cdot l_7} = \sqrt{3,154^2 + 2 \cdot 9,635(1,6 - 1,817)10^{-3} \cdot 59,18} = 3,114.$$

Здесь полученный результат расчёта $v_7 = 3,114$ м/с меньше, чем начальная скорость $v_{n7} = 3,154$ м/с, поскольку $|w_7| > i_7$.

Относительная ошибка расчёта, выполненная по формулам (2) и по формулам элементарной физики, равна $\delta v_7 \approx 16,1 \%$, что почти в 3 раза превышает точности инженерных расчётов ($\approx 5 \%$).

Отсюда становится очевидным ошибочность выполнения расчётов скорости скатывания вагона на участках сортировочной горки с малым уклоном ($i_7 = 1,6 \%$) при не учете проекции силы попутного ветра $F_{вк}$ (см. второй абзац средней колонки на стр. 24 в [2]).

4) Если за основное удельное сопротивление движению, согласно табл. 4.2 в [18], принять $\omega_{o1} = 0,5$ кгс/тс для очень хорошего бегуна (ОХ), то скорость скольжения вагона v_{o7} на участке СП1 горки, м/с:

$$v_{o7} = \sqrt{v_{n7}^2 + 2g'(i_7 + |w_{o7}|)10^{-3} \cdot l_7} = \sqrt{3,154^2 + 2 \cdot 9,635(1,6 - 0,5)10^{-3} \cdot 59,18} = 3,347.$$

Заметим, что при расчёте v_{o7} значения ω_{o7} приняли без изменения, т.е. $\omega_{o1} = 0,5$ кгс/тс.

Относительная ошибка расчёта, выполненная по формулам (2) и по формулам элементарной физики [27], равна $\delta v_{o7} \approx 9,8 \%$, что почти в 2 раза превышает точности инженерных расчётов ($\approx 5 \%$). По этой причине значения $w_{o7} = \omega_{o7} = 0,5$ кгс/тс не рекомендуется для выполнения практических расчётов.

5) Подсчитаем скорости скатывания вагона на участке СП1 горки по формуле (2) с учетом проекции силы попутного ветра $F_{вк}$, м/с:

$$v_{x7} = \sqrt{v_{n7}^2 + 2g'(i_{x7} + |w_7|)10^{-3} \cdot l_7} = \sqrt{3,154^2 + 2 \cdot 9,635(1,6 - 1,817)10^{-3} \cdot 59,18} = 3,702.$$

Относительная ошибка расчёта, выполненная по формулам (2) и (9) в [13], равна $\delta v_{x7} \approx 0,25 \%$, что ничтожно мало.

Выводы по методике 3: на участке первого сортировочного пути (СП1) относительная ошибка расчёта скорости движения вагона, выполненная по формуле (2) сравнительно с формулой элементарной физики, равна $\delta v_7 \approx 16,1 \%$, что почти в 3 раза превышает точности инженерных расчётов ($\approx 5 \%$), а относительная ошибка расчёта по указанным формулам при значении удельного сопротивления движению вагона $w_{o7} = \omega_{o7} = 0,5$ кгс/тс, равна $\delta v_{o7} \approx 9,8 \%$, что почти в 2 раза превышает точности инженерных расчётов ($\approx 5 \%$), что подтверждают неубедительность применения при горочных расчётах формулы (2), как части формулы (2) (без некорректно включенного вычитаемого) в [4].

Выводы. Проведенный анализ результатов вычислений скорости движения вагона по вариантам расчета 1 – 3 показал, что:

1. Применение упрощенных методик расчета скорости скатывания вагона на промежуточном участке (ПР), стрелочной зоне (СЗ) после второй стрелки (С2), первом сортировочном пути (СП1) горки дает большой разброс относительной ошибки вычислений (при одних и тех же исходных данных) от 4 до 16,1 %.

2. Предложенная методика вычислений скорости движения вагона по уклонам сортировочной горки дает ничтожно малую погрешность, не превышающую точности инженерных расчетов ($\approx 5\%$).

3. Результаты сравнения показали преимущества предложенной методики расчета скорости скатывания вагона по всей протяженности горки, нежели рекомендованной для выполнения горочных расчетов в [4].

Л и т е р а т у р а

- Туранов Х.Т. Некоторые проблемы теоретических предпосылок динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации, 2015, № 3 (237). – С. 29 - 36. ISSN 2072-8115.
- Рудановский В.М. О попытке критики теоретических положений динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / В.М. Рудановский, И.П. Старшов, В.А. Кобзев // Бюллетень транспортной информации. 2016. № 6 (252). – С. 19-28. ISSN 2072-8115.
- Туранов Х.Т. О попытке доказательств нового подхода к исследованию движения вагона по спускной части сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации, 2016, № 10 (256). – С. 19 - 24. ISSN 2072-8115.
- Позойский Ю.О. К вопросу движения вагона по уклону железнодорожного пути / Ю.О. Позойский, В.А. Кобзев, И.П. Старшов, В.М. Рудановский // Бюллетень транспортной информации. 2018. № 2 (272). – С. 35-38. ISSN 2072-8115.
- Туранов Х. Т. Математическое описание движения вагона на участках тормозных позиций сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Транспорт Урала. 2018. № 2 (57). С. 3–8. DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-3-8. ISSN 1815-9400.
- Туранов Х.Т. Выбор рационального режима роспуска «очень плохого бегуна» с сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, О.В. Молчанова // Транспорт: наука, техника, управление. 2018, № 7. С. 9 - 13. ISSN 0236-1914.
- Туранов Х.Т. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (Часть I) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации, 2018, №9 (279). С. 23-28. ISSN 2072-8115.
- Туранов Х.Т. К критическому анализу теоретических положений движения вагона с сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джаббаров // Транспорт: наука, техника, управление. 2018, № 11. С. 26 - 31. ISSN 0236-1914.
- Туранов Х.Т. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (часть II) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. 2018. №12 (282). С. 12-18. ISSN 2072-8115.
- Khabibulla Turanov, and Andrey Gordienko. Movement of a railway car rolling down a classification hump with a tailwind // MATEC Web of Conferences 216, 02027 (2018) Politransport Systems – 2018. 1-7 p.
- Туранов Х.Т. О подходе к определению некоторых кинематических параметров движения вагона на тормозных позициях сортировочных горок / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.У. Саидвалиев // International Journal of Advanced Studies. 2018, Vol 8, №4. С. 122 - 136. DOI: 10.12731/2227-930X-2018-4-122-136. ISSN 0236-1914.
- Туранов Х.Т. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (Часть IV) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джаббаров // Транспорт: наука, техника, управление. 2019, № 1. С. 16 - 20. ISSN 0236-1914.
- Туранов Х.Т. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (Часть V) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джаббаров // Бюллетень транспортной информации. 2019. №3 (285). С. 22-27. ISSN 2072-8115.
- Образцов В.Н. Станции и узлы. ч. II / В.Н. Образцов. – М.: Трансжелдориздат, 1938. 492 с.
- Земблинов С.В. Станции и узлы / С.В. Земблинов, И.И. Страковский. – М.: Трансжелдориздат, 1963. 348 с.
- Парфёнов В.П. Сортировочные горки большой мощности: Пособие к курсовому и дипломному проектированию / В.П. Парфёнов, М.М. Филипов, М.М. Уздин, В.П. Павлов. – Л.: ЛИИЖТ, 1972. 80 с.
- Акулиничев В.М. Расчёт и проектирование сортировочных горок большой и средней мощности: учебн. пособ. для вузов ж. – д. трансп. / В.М. Акулиничев, Л.П. Колодий. – М.: МИИТ, 1981. 61 с.
- Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1 520 мм. – М.: ТЕХИНФОРМ, 2003. – 168 с.
- Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчёты): Учебное пособие для вузов ж. – д. трансп. / Н.В. Правдин, В.Г. Шубко, Е.В. Архангельский и др.; Под ред. Н.В. Правдина и В.Г. Шубко. – М.: Маршрут, 2005. 502 с.
- Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы): учебник / Н.В. Правдин, С.П. Вакуленко, А.К. Голович и др.; под ред. Н.В. Правдина и С.П. Вакуленко. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. 1086 с.
- Железнодорожные станции и узлы: учебник / В.И. Апатцев и др.; под ред. В.И. Апатцева и Ю.И. Ефименко. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. 855 с.
- Кобзев В.А. Технические средства сортировочных горок, обеспечивающие безопасность движения. Часть 1. Учебное пособие / В.А. Кобзев. – М.: МИИТ, 2009. 92 с.
- Инструкция по расчёту максимально допустимой длины отцепы при роспуске на сортировочных горках (Утверждён 24.12.2012). – М.: ОАО «РЖД», 2012. 10 с.
- Лойцянский Л.Г. Курс теоретической механики. Т. II. Динамика / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. – М.: Наука. 1983. – 640 с.

25. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1998. 416 с.

26. Туранов Х.Т. Результаты исследований движения вагона по спускной части сортировочной горки при попутном ветре / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, И.С. Плахотич // Бюллетень транспортной информации, 2016, № 12 (256). – С. 31 - 36. ISSN 2072-8115.

27. Туранов Х.Т. Движения вагона на сортировочной горке при попутном ветре / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко //]. Мир транспорта. 2015. Т. 13. № 6 (61), С. 36-48. ISSN 1992-3252.

28. МАКАРОВ Е.Г. МАТНСАД: УЧЕБНЫЙ КУРС (+CD). – СПб.: ПИТЕР, 2009. 384 С.

29. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. I. / Г.М. Фихтенгольц. – М.: Л.: ГИТТЛ «Гостехиздат», 1947. 688 с.

References

1. Turanov H.T. Nekotorye problemy teoreticheskikh predposylkok dinamiki skatyvaniya vagona po uklonu sortirovochnoj gorki / H.T. Turanov, A.A. Gordienko // Byulleten' transportnoj informacii, 2015, № 3 (237). □ S. 29 - 36. ISSN 2072-8115.

2. Rudanovskij V.M. O popytke kritiki teoreticheskikh polozhenij dinamiki skatyvaniya vagona po uklonu sortirovochnoj gorki / V.M. Rudanovskij, I.P. Starshov, V.A. Kobzev // Byulleten' transportnoj informacii. 2016. № 6 (252). □ S. 19-28. ISSN 2072-8115.

3. Turanov H.T. O popytke dokazatel'stva novogo podhoda k issledovaniyu dvizheniya vagona po spusknoj chasti sortirovochnoj gorki / H.T. Turanov, A.A. Gordienko // Byulleten' transportnoj informacii, 2016, № 10 (256). □ S. 19 - 24. ISSN 2072-8115.

4. Pozojskij Yu.O. K voprosu dvizheniya vagona po uklonu zheleznodorozhnogo puti / Yu.O. Pozojskij, V.A. Kobzev, I.P. Starshov, V.M. Rudanovskij // Byulleten' transportnoj informacii. 2018. № 2 (272). □ S. 35-38. ISSN 2072-8115.

5. Turanov H. T. Matematicheskoe opisanie dvizheniya vagona na uchastkah tormoznykh pozicij sortirovochnoj gorki / H.T. Turanov, A.A. Gordienko // Transport Urala. 2018. № 2 (57). S. 3–8. DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-3-8. ISSN 1815-9400.

6. Turanov H.T. Vychor racional'nogo rezhima rospuska «ochen' plohogo beguna» s sortirovochnoj gorki / H.T. Turanov, A.A. Gordienko, O.V. Molchanova // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2018, № 7. S. 9 - 13. ISSN 0236-1914.

7. Turanov H.T. Kriticheskij analiz teoreticheskikh polozhenij dvizheniya vagona s sortirovochnoj gorki (Chast' I) / H.T. Turanov, A.A. Gordienko // Byulleten' transportnoj informacii, 2018, №9 (279). S. 23-28. ISSN 2072-8115.

8. Turanov H.T. K kriticheskomu analizu teoreticheskikh polozhenij dvizheniya vagona s sortirovochnoj gorki / H.T. Turanov, A.A. Gordienko, Sh.B. Dzhabborov // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2018, № 11. S. 26 - 31. ISSN 0236-1914.

9. Turanov H.T. Kriticheskij analiz teoreticheskikh polozhenij dvizheniya vagona s sortirovochnoj gorki (chast' II) / H.T. Turanov, A.A. Gordienko // Byulleten' transportnoj informacii. 2018. №12 (282). S. 12-18. ISSN 2072-8115.

10. Khabibulla Turanov, and Andrey Gordienko. Movement of a railway car rolling down a classification hump with a tailwind // MATEC Web of Conferences 216, 02027 (2018) Politransport Systems – 2018. 1-7 p.

11. Turanov H.T. O podhode k opredeleniyu nekotorykh kinematicheskikh parametrov dvizheniya vagona na tormoznykh poziciyah sortirovochnykh gorok / H.T. Turanov, A.A. Gordienko, Sh.U. Saidivaliev // International Journal of Advanced Studies. 2018, Vol 8, №4. S. 122 - 136. DOI: 10.12731/2227-930X-2018-4-122-136. ISSN 0236-1914.

12. Turanov H.T. Kriticheskij analiz teoreticheskikh polozhenij dvizheniya vagona s sortirovochnoj gorki (Chast' IV) / H.T. Turanov, A.A. Gordienko, Sh.B. Dzhabborov // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2019, № 1. S. 16 - 20. ISSN 0236-1914.

13. Turanov H.T. Kriticheskij analiz teoreticheskikh polozhenij dvizheniya vagona s sortirovochnoj gorki (Chast' V) / H.T. Turanov, A.A. Gordienko, Sh.B. Dzhabborov // Byulleten' transportnoj informacii. 2019. №3 (285). S. 22-27. ISSN 2072-8115.

14. Obrazcov V.N. Stancii i uzly. ch. II / V.N. Obrazcov. – М.: Transzheldorizdat, 1938. 492 s.

15. Zemblinov S.V. Stancii i uzly / S.V. Zemblinov, I.I. Strakovskij. – М.: Transzheldorizdat, 1963. 348 s.

16. Parfyonov V.P. Sortirovochnye gorki bol'shoj moshchnosti: Posobie k kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu / V.P. Parfyonov, M.M. Filipov, M.M. Uzdin, V.P. Pavlov. – L.: LIIZhT, 1972. 80 s.

17. Akulinichev V.M. Raschyot i proektirovanie sortirovochnykh gorok bol'shoj i srednej moshchnosti: uchebn. posob. dlya vuzov zh. – d. transp. / V.M. Akulinichev, L.P. Kolodij. – М.: MIIT, 1981. 61s.

18. Pravila i normy proektirovaniya sortirovochnykh ustrojstv na zheleznnykh dorogah kolei I 520 mm. – М.: TEHINFORM, 2003. – 168 s.

19. Zheleznodorozhnye stancii i uzly (zadachi, primery, raschyoty): Uchebnoe posobie dlya vuzov zh. – d. transp. / N.V. Pravdin, V.G. Shubko, E.V. Arhangel'skij i dr.; Pod red. N.V. Pravdina i V.G. Shubko. – М.: Marshrut, 2005. 502 s.

20. Proektirovanie infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta (stancii, zheleznodorozhnye i transportnye uzly): uchebnik / N.V. Pravdin, S.P. Vakulenko, A.K. Golovich i dr.; pod red. N.V. Pravdina i S.P. Vakulenko. – М.: FGBOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte», 2012. 1086 s.

21. Zheleznodorozhnye stancii i uzly: uchebnik / V.I. Apatcev i dr.; pod red. V.I. Apatceva i Yu.I. Efimenko. – М.: FGBOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte», 2014. 855 s.

22. Kobzev V.A. Tekhnicheskoe sredstva sortirovochnykh gorok, obespechivayushchie bezopasnost' dvizheniya. Chast' I. Uchebnoe posobie / V.A. Kobzev. – М.: MIIT, 2009. 92 s.

23. Instrukciya po raschyotu maksimal'no dopustimoj dliny otcepa pri rospuske na sortirovochnykh gorkah (Utverzhdyon 24.12.2012). – М.: OAO «RZhD», 2012. 10 s.

24. Lojcyanskij L.G. Kurs teoreticheskoy mekhaniki. T. II. Dinamika / L.G. Lojcyanskij, A.I. Lur'e. – М.: Nauka. 1983. – 640 s.

25. Targ S.M. Kratkij kurs teoreticheskoy mekhaniki: uchebnik dlya vtuzov. □ М.: Vyssh. shk., 1998. 416 s.

26. Turanov H.T. Rezultaty issledovaniy dvizheniya vagona po spusknoj chasti sortirovochnoj gorki pri poputnom vetre / H.T. Turanov, A.A. Gordienko, I.S. Plahotich // Byulleten' transportnoj informacii, 2016, № 12 (256). – С. 31 - 36. ISSN 2072-8115.

27. Turanov H.T. Dvizheniya vagona na sortirovochnoj gorke pri poputnom vetre / H.T. Turanov, A.A. Gordienko //]. Мир транспорта. 2015. Т. 13. № 6 (61), С. 36-48. ISSN 1992-3252.

28. Makarov E.G. Mathcad: Uchebnyj kurs (+CD). – SPb.: Piter, 2009. 384 s.

29. Fihtengol'c G.M. Kurs differencial'nogo i integral'nogo ischisleniya. T. I. / G.M. Fihtengol'c. – M.: L.: GITTL «Gostekhizdat», 1947. 688 s.

Gordienko A.A., Djalilov Kh.H.

ANALYSIS OF THE WAGON MOTION SPEED ON THE WHOLE PROTECTION OF THE PROFILE OF THE WAY WITH DIFFERENT TIES OF THE SORTING SLIDGE

The article used the formula derived from the theorem on the change in kinetic energy for a non-free material point in the final form for calculating the speed of movement of the car in different parts of the hump. As examples of calculations, it was noted that in the intermediate section of the hump to the dividing arrow, the relative calculation error is 10.3%; %

Key words: Railway, station, sorting hill, car, slide profile, the results of calculations of the speed of movement of the car in different parts of the hill.

Гордиенко Андрей Александрович, кандидат технических наук, и.о. доцента кафедры «Станции, узлы и

грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Gordienko Andrey Aleksandrovich, PhD (Tech.), Assistant Professor, Urals State University of Railway Transport – USURT, The Department "Stations, junctions and cargo work" of FSBEU HE "Ural State University of Railway Transport" (Ekaterinburg).

Джалилов Хасан Хотамович, ассистент кафедры «Вагоны» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ)

Djalilov Khasan Xotamovich, assistant of the department "Cars" of the Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (TashIRTE)

Рецензент: Губачева Лариса Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 16.03.2019

УДК 658.567, 66.092-977

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

Губачева Л.А., Андреев А.А., Масленников Е.А.

RESOURCE SAVING IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Gubacheva L.A., Andreev A.A., Maslennikov E.A.

Статья посвящена ресурсосбережению в транспортной инфраструктуре. Описываются проблемы с утилизацией ТБО, являющихся важнейшим вторичным ресурсом – источником энергии. В качестве варианта решения этой проблемы рассматривается дальнейшая модернизация установки для переработки автомобильных шин и резинотехнических изделий, работа которой не зависит от внешних источников электроэнергии. Предложено использовать дополнительный газогенератор и мотор-электрогенератор, работающий на генераторном газе, обеспечивающий автономность работы установки.

Ключевые слова: Шины; твердые бытовые отходы; пиролиз; полукокс; металлокорд; жидкое топливо, газообразное топливо; газогенератор.

Введение. Одной из деталей автомобиля, больше остальных подверженной износу, являются шины. Покрышки обеспечивают контакт машины с поверхностью дорожного покрытия. Длительный срок эксплуатации и выполнение непосредственных функций становится причиной их износа. Безопасность передвижения по дорогам зависит от работоспособности покрышек, и по этой причине необходимо тщательно следить за их состоянием. «Лысые» покрышки, не выполняющие своих функций, подлежат утилизации, поскольку могут стать причиной увеличения тормозного пути, аквапланирования и заносов, что, в свою очередь, может спровоцировать дорожно-транспортное происшествие.

Износ автомобильных шин — неизбежное следствие эксплуатации транспортного средства. Количество автомобилей неуклонно растёт, а с ними и количество отработанной резины, что заставляет мировых лидеров серьёзно задуматься над проблемой утилизации и переработки такого вида отходов. Только в Европе ежегодно на свалку выбрасывается свыше 2 млн. тонн изношенных шин. К сожалению, методом измельчения утилизируют около 10 % шин, 20 % идёт как топливный материал [1].

В России этот вопрос стоит ещё острее. Согласно данным Московского научно-

исследовательского института шинной промышленности, проблема отработанных шин достигла в стране довольно широких масштабов: ежегодно выходит из эксплуатации около 1 млн. тонн и только в Москве каждый год образуется до 60 тыс. тонн изношенных шин [6].

Изношенные шины являются мощным источником загрязнения нашей атмосферы. Высокая экологическая опасность изношенных шин обусловлена, с одной стороны, токсическими свойствами материалов, из которых они изготовлены, их высокой пожароопасностью при самовоспламенении на полигонах ТБО, куда они свозятся, с другой — свойствами более ста химических веществ, которые выделяются в окружающую среду во время эксплуатации, обслуживания, ремонта и хранения шин [1].

За последнее время ситуация с вывозом и утилизацией вторичных ресурсов практически не изменилась. Как и полвека назад, схема остается прежней: твердые бытовые отходы (ТБО) при помощи спецтехники попадают на полигон для утилизации.

Твердые бытовые отходы (ТБО) представляют собой вторичное сырье, готовое к употреблению при условиях изначального сбора и сортировки [5].

Рассматривая вторичные ресурсы как возобновляемый источник энергии, необходимо учитывать в первую очередь экономический интерес населения. Учитывая постоянный рост тарифов на энергоносители, дефицит топлива во многих регионах, бытовые отходы, как разновидность альтернативного топлива, становятся, как никогда, актуальными.

Получая энергию из вторичного сырья, мы одновременно решаем проблему утилизации ТБО, получая дешевую, можно сказать, практически бесплатную тепловую энергию, которую можно пустить на обеспечение коммунальных теплоресурсов и повышение экологического уровня окружающей среды в местах сосредоточения полигонов ТБО. Применение современных технологий в процессе решения проблемы

утилизации отходов позволит снизить негативное влияние, которое оказывает полигон отходов (ТБО) на окружающую среду [4].

Особо остро стоит эта проблема при возникновении экологических чрезвычайных ситуаций, связанных с накоплением отходов, в результате стихийных бедствий и военных действий при отсутствии источников питания. Здесь возникает необходимость использования автономных установок.

Метод решения. Одним из вариантов является модернизация известных установок, например Fortan 4 (Республика Крым) по переработке промышленных отходов (рис. 1), [2].



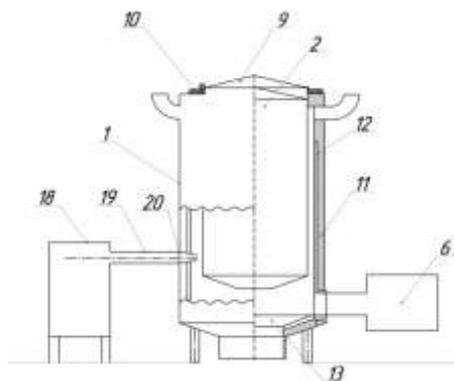
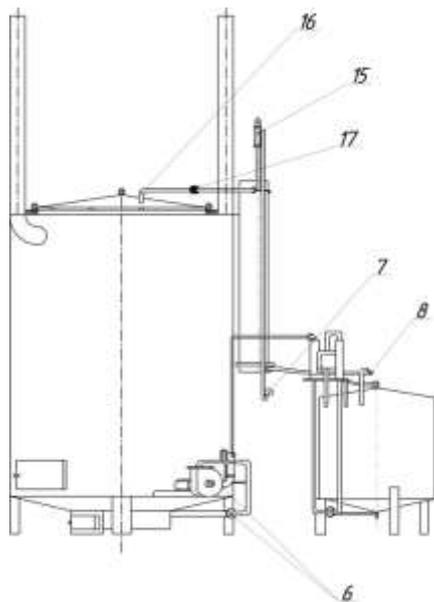
Рис. 1. Установки Fortan 4 по переработке промышленных отходов

Данная установка работает на основе процесса термического пиролиза. В ходе процесса

переработки, которая является абсолютно безопасной для окружающей среды, сжигаются полимерные и резинотехнические изделия с последующим получением жидкого и газообразного топлива, а также твердых остатков в виде металлокорда и полукокса.

Главным недостатком данных мероприятий является то, что практически все продукты переработки отходов в дальнейшем не используются в производстве. Учитывая концепцию циркулярной экономики [4], имеет смысл использовать продукты переработки в собственном производстве, тем самым уменьшая затраты на ввоз сырья и топлива. Рассмотрим установку для термической переработки отходов, известную (рис. 2а) и предлагаемую ее модернизацию (рис. 2б), с установленным газогенератором.

Устройство содержит ретортную печь 1, сменную реторту 2 с крышкой 9, песочный затвор 10, конденсатор-холодильник 3, сборник-сепаратор жидких продуктов 4, газо-жидкостный сепаратор 5, система наддува 6, манометр 7, кран шаровой муфтовый 8, шахту печи 11 с футеровкой 12 огнеупорным бетоном и высокотемпературной теплоизоляцией на основе керамического волокна, в нижней части шахты печи установлены колосники 13, горелка 14, сильфонный компенсатор деформации 15, связывающий крышку 9 сменной реторты 2 с компенсатором-холодильником 3 при помощи трубопровода 16 и быстросъемного соединения 17, газогенератор 18 с выхлопной трубой 19 с коническим наконечником 20.



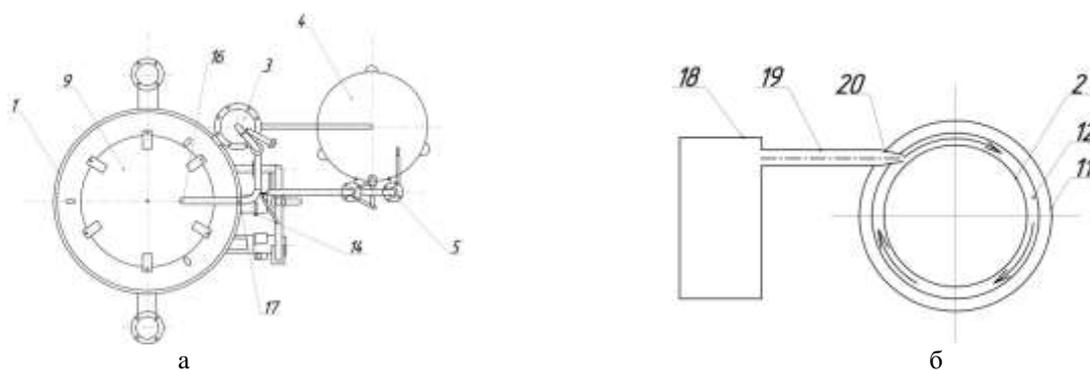


Рис. 2. Схема установки для термической переработки отходов: а – Fortan 4; б – модернизированная, с установленным газогенератором

1- ретортная печь; 2- сменная реторта; 3 - конденсатор-холодильник; 4 - сборник-сепаратор; 5- газо-жидкостный сепаратор; 6 - система наддува; 7- манометр; 8 - кран шаровой муфтовый; 9 - крышка; 10 - песочный затвор; 11- шахта; 12- футеровка печи; 13 -колосники; 14 - горелка; 15 - сильфонный компенсатор; 16 - трубопровод; 17 - быстросъемное соединение; 18 - газогенератор; 19 - выхлопная труба; 20 – конический наконечник.

Недостатками этого устройства является низкая эффективность теплопередачи от дымовых газов к реторте и зависимость от внешних источников электроэнергии. Причинами, препятствующими достижению ожидаемого технического результата, является низкая теплопередача к реторте от медленно поднимающихся печных газов и невозможность работать при отсутствии внешней электроэнергии.

Технический результат заключается в расширении функциональных возможностей устройства за счет введения собственного источника электроэнергии и турбулизации печных газов.

Поставленная задача решается тем, что в устройстве для термической переработки отходов введен газогенератор [7], работающий на произведенном горючем газе и полукоксе, питающий систему наддува (рис. 2б).

Устройство работает следующим образом. Переработка отходов осуществляется с целью их утилизации и получения ценных продуктов – жидкого топлива, горючего газа, углеродного остатка (полукокса), металлокорда.

Сырье (шины, дробленые отходы) загружается в реторту 2 (сосуд из жаростойкого материала). Реторта 2 представляет собой цилиндрический сосуд из жаростойкой стали с крышкой 9. Песочный затвор 10 по периметру сопрягаемых поверхностей реторты 2 и печи 1 обеспечивает герметичность внутреннего пространства печи 1.

Сырье нагревается посредством теплоотдачи через стенки реторты 2 и подвергается термическому разложению (пиролизу) с образованием парогазовой смеси и углеродистого остатка – полукокса. Парогазовая смесь выводится из реторты по трубопроводу, охлаждается в конденсаторе-холодильнике 3, пары конденсируются и полученная жидкость отделяется от неконденсирующихся газов в газожидкостном сепараторе 5. Жидкость накапливается в сборнике-

сепараторе 4 жидких продуктов, газ частично используется для поддержания процесса горения в печи под ретортой, а также частично используется для работы газогенератора 18.

По окончании процесса пиролиза реторту 2 либо догружают новой порцией сырья, либо извлекают из печи 1 для очистки и установки другой реторты 2, заполненной дроблеными отходами.

При отсутствии внешней электроэнергии запускается в работу мотор-электрогенератор, работающий на генераторном газе. Интенсификация горения обеспечивается системой наддува 6 воздуха под колосники 13, а интенсификация перемешивания газов в печи 1 и регулирование температуры обеспечивается выхлопными газами мотор-электрогенератора.

Окончание процесса пиролиза определяется по мере уменьшения потока горючего газа вплоть до прекращения. Остывание полукокса в закрытых ретортах 2 на воздухе позволяет отказываться от тушения полукокса водой и снизить экологическую нагрузку.

Одним из способов загрузки твердого сырья в газогенератор является использование устройства для подачи твердого топлива к газогенератору [7] (рис. 3).

Устройство для подачи твердого топлива к установкам для сжигания функционирует следующим образом. Перед загрузкой корпуса цилиндрического горизонтального бункера 21 снимается крышка 23 загрузочного люка 22. Через загрузочный люк 22 в бункер 21, до определенного уровня, засыпается твердое топливо 35. От привода 28 вращается приводная звездочка 30, которая, в свою очередь, через цепную передачу вращает звездочку 29, а та, в свою очередь, через вал 25 вращает шнек-ворошитель с большим диаметром винта, к которому присоединены, под острым углом, промежуточные ребра-лопасти 26, к которым прикреплены широкая спираль 27, и происходит

ворошение и горизонтальная транспортировка твердого топлива к выгрузному отверстию 24 на дне цилиндрического бункера 21.

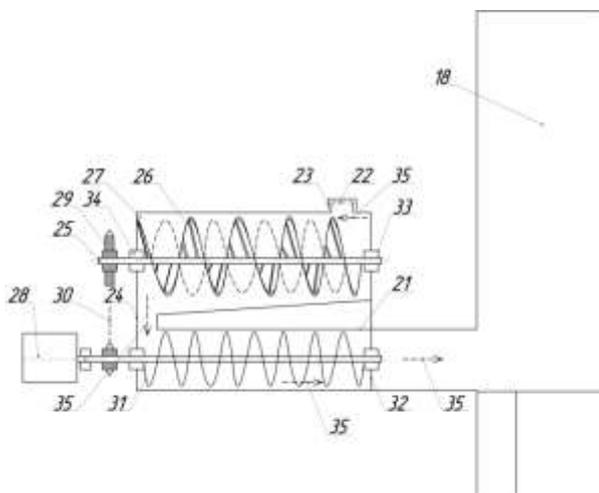


Рис. 3. Схема устройства для подачи твердого топлива к газогенератору

18 – газогенератор; 21 – цилиндрический бункер; 22 – загрузочный люк; 23 – крышка загрузочного люка; 24 – выгрузное отверстие; 25 – вал; 26 – ребра-лопасти; 27 – спираль; 28 – привод; 29 – звездочка; 30 – приводная звездочка; 31 – осевой шнек; 32 – корпус; 33 – подшипниковые узлы. 35 – твердое топливо.

Дно цилиндрического бункера 21 выполнено под углом, наклон даст возможность всему топливу перемещаться к выгрузному отверстию 24 и заполнять сплошной осевой шнек 31 с наименьшими затратами энергии. Угол между валом 25 и спиралью 27 определен с учетом длины шнека-ворошителя (расстояние, измеряемое между осями загрузочного люка 22 и выгрузного отверстия 24), размеров загрузочного люка 22 и выгрузного отверстия 24. При вращении вала 25 ребра-лопасти 26 со спиралью 27 захватывают в общем объеме локальные объемы материала и транспортируют захваченное выгрузную порцию вдоль стенок цилиндрического бункера 21 к выгрузному отверстию 24. После выгрузки доли сухого материала из цилиндрического бункера 21 через выгрузное отверстие 24 в корпус 32, в котором расположен осевой сплошной шнек 31 изменяемого шага винтовой линии, освобождается локальный объем сухого материала 35. Под действием силы тяжести верхняя часть сухого материала 37, незадействованная в процессе транспортировки, то есть, то что находилось выше шнека-ворошителя, обрушивается на дно цилиндрического бункера 21 и заполняет объем, который освободился. Из корпуса 32 твердое топливо 35 транспортируется к установке для сжигания 18 (газогенератор) осевым сплошным шнеком 31 изменяемого шага винтовой линии. Для обеспечения точного дозирования сплошной шнек 31 изменяемого шага винтовой линии изготавливается таким образом, что в зоне

загрузки его шаг винтовой линии более мелкий, чем в основной транспортной зоне.

Выводы. 1. В связи с проведенными исследованиями, было разработано автономное эффективное устройство для переработки твердых отходов.

2. Повышены функциональные возможности для переработки дробленых отходов разнородного состава.

3. Повышена эффективность технологического процесса переработки за счет интенсификации теплопередачи от дымовых газов к реторте, а также снижены энергетические затраты на единицу теплотворной способности продуктов термохимической переработки.

4. Установка позволяет использовать ТБО и сухой остаток после переработки резинотехнических изделий и изношенных шин как дополнительное топливо для отопительных систем.

Литература

1. Валуев Д. В., Ананьева О. Р. Перспективы переработки автомобильных шин // Вестник науки Сибири. № 1. 2011. С. 699–704.].
2. Луганский Информационный Центр. «Первая установка по переработке промышленных отходов заработала в Республике» [Электронный ресурс] - URL:<http://lug-info.com/news/one/pervaya-ustanovka-po-pererabotke-promyshlennykh-otkhodov-rabotaet-v-respublike-9969>.
3. Луганский Информационный Центр. «Установка по утилизации отходов чрезвычайно высокой опасности заработала в ЛНР» [Электронный ресурс] - URL:<http://lug-info.com/news/one/ustanovka-po-utilizatsii-otkhodov-chrezvychaino-vysokoi-opasnosti-zarabotala-v-lnr-foto-36457>.
4. Портал Переработка мусора (ТБО) — инвестиции в будущее. [Электронный ресурс] - URL: <http://ztbo.ru/o-tbo/stati/obshie/pererabotka-musora-tbo-v-toplivo>.
5. Ю.В Рябов, Г.Б Мелентьев, Л.М Делицын Твёрдые бытовые отходы: захоронение, сжигание, переработка / «Редкие земли» - 2016 - № 1(6). - с.162-167.
6. Шулякова К. А. Утилизация изношенных автомобильных шин в России // Молодой ученый. — 2016. — №26. — С. 739-742. — URL <https://moluch.ru/archive/130/35973/> (дата обращения: 01.12.2018).
7. Губачева Л.О., Андреев О.О., Шевченко Д.Ю., Волохов О.М. Пристрій для подачи твердого палива до установок для спалювання. Патент України № 94835 від 10.12.14г., Бюл. № 23.
8. Пат. 94837 Україна, МПК (2014.01) F23K3/00. Пристрій для подачи твердого палива до установок для спалювання / Губачева Л.О., Андреев О.О., Шевченко Д.Ю., Литвищенко О.М., Левко Д.О.; власник Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля. - № 201403512; заявл. 07.04.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23.

References

1. Valuev D.V., Ananyeva O.R. Prospects for the processing of automobile tires // Bulletin of Siberian science. No. 1. 2011. P. 699-704.].

2. Lugansk Information Center. "The first industrial waste processing facility was launched in the Republic" [Electronic resource] - URL:<http://lug-info.com/news/one/pervaya-ustanovka-po-pererabotke-promyshlennykh-otkhodov-rabotaet-v-respublike-9969>.

3. Lugansk Information Center. "Installation of waste disposal is extremely high danger earned in the LC" [Electronic resource] - URL:<http://lug-info.com/news/one/ustanovka-po-utilizatsiii-otkhodov-chrezvychaino-vysokoi-opasnosti-zarabotala-v-lnr-foto-36457>.

4. Portal Recycling (MSW) - an investment in the future. [Electronic resource] - URL: <http://ztbo.ru/otbo/stati/obshie/pererabotka-musora-tbo-v-toplivo>.

5. Yu.V Ryabov, G.B. Melentyev, L.M. Delitsyn Municipal solid waste: burial, incineration, processing / "Rare earths" - 2016 - № 1 (6). - p.162-167.

6. Shuldyakova KA. Utilization of worn out automobile tires in Russia // Young Scientist. - 2016. - №26. - p. 739-742. - URL <https://moluch.ru/archive/130/35973/> (appeal date: 12/01/2018).

7. Gubacheva L.O., Andreev O.O., Shevchenko D.Yu., Volokhov OM Pristriy for filing a solid paliva up installations for spaluyannya. Patent of Ukraine No. 94835 of December 10, 2014, Bul. No. 23.

8. Gubacheva L.O., Andreev O.O., Shevchenko D.Yu., Litvishchenko O.M., Levko D.O.- Equipment for feeding solid wood to installations for bedroom. 14g. Byul. No. 23.

Gubacheva L.A., Andreev A.A.,

Maslennikov E.A.

RESOURCE SAVING IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE

The article is devoted to resource saving in the transport infrastructure. It describes the problems with the disposal of solid household waste (MSW), which are the most important secondary resource - the source of energy. As an option to solve this problem, further modernization of the installation for processing automobile tires and rubber products, whose work does not depend on external sources of electricity is considered. It is proposed to use an additional gas generator and a motor-electric generator that runs on generator gas, ensuring the autonomy of the installation.

Keywords: Tires; municipal solid waste; pyrolysis; char; metal cord; liquid fuel; gaseous fuel; gas generator; motor-electric generator.

Губачева Лариса Александровна, д.т.н., проф., зав кафедрой «Промышленный и городской транспорт». ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: gubacheva_snu@bk.ru

Gubacheva Larisa Aleksandrovna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial and Urban Transport State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: gubacheva_snu@bk.ru

Андреев Александр Александрович, к.т.н., доц., кафедры «Промышленный и городской транспорт». ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Andreev Aleksandr Aleksandrovich, Ph.D, Associate Professor, Department of Industrial and Urban Transport. State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University», Lugansk.

Масленников Евгений Александрович, магистрант кафедры «Промышленный и городской транспорт ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Maslennikov Evgeny Alexandrovich, Master student of the department "Industrial and urban transport". State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University», Lugansk.

E-mail: batevskij@gmail.com

Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 29.03.2019 года

УДК 621.1.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ РАБОТЫ ТРАНСПОРТА НА ГЕНЕРАТОРНОМ ГАЗЕ

Губачева Л.А., Андреев А.А., Янголь Ю.Р.

EFFICIENCY OF THE RESOURCE-SAVING WORK OF TRANSPORT ON THE GENERATION GAS

Gubacheva L.A., Andreev A.A., Yangol Yu.R.

Рассмотрены вопросы ресурсосбережения по переработке твердых бытовых отходов (ТБО), сортировки древесно-содержащих и полиэтилен-содержащих отходов для получения моторного газообразного топлива в газогенераторе. Негативное воздействие ТБО на окружающую среду, приводящее к изменению климата, вынуждает к поискам решения для обеспечения комфортных условий жизни и ежедневной деятельности с учётом бурного развития техники и технологий, в период четвертой промышленной революции.

Ключевые слова: ресурсосбережение, твердые бытовые отходы, сортировка, переработка, газогенераторный газ, Индустрия 4.0.

Введение. Индустрия 4.0 представляет собой новый уровень организации производства и управления цепочками поставок на протяжении всего жизненного цикла выпускаемой продукции. Одним из ключевых направлений Четвертой промышленной революции является формирование «природоподобных» технико-технологических систем. В связи с этим все больше компаний в мире начинают внедрять принципы циркулярной экономики в свою деятельность, что приводит к существенным экологическим, экономическим и социальным выгодам. [1]

Переработка твердых бытовых отходов сегодня является одной из самых острых тем экологии. Потребление продуктов с каждым годом только повышается, соответственно, растут и темпы производства. А рост производства сопровождается ростом количества производимых отходов. На сегодняшний день уровень загрязнённости городов резко увеличился.

Более актуальной является проблема утилизации бытовых отходов, неизменно образующихся в процессе жизнедеятельности

человека. Эти отходы, постепенно накапливаясь, уже превратились

в самое настоящее бедствие. Поэтому все большее внимание начинают уделять вопросам охраны окружающей среды, используя новые технологии переработки мусора. [2]

В Германии вместо обычных мусорных баков возле каждого дома стоят 4 пластиковых контейнера разного цвета: синий (для бумаги), желтый (для пластика), коричневый (для биоотходов) и черный (для прочего мусора). В Германии мусор перерабатывают следующим образом, сначала мусор собирают в специальном бункере мусоросжигательного завода, что позволяет улучшить его энергетическую ценность и только затем отправляют в печи. В основном используют метод слоевого сжигания. Для него характерна подача горячих воздушных потоков на слой отходов, загруженный на колосниковую решетку. При использовании этого метода не требуется особая подготовка мусора (при этом температура горения достигает более 1000°C).

Второй по популярности способ сжигания мусора в стране - сжигание в кипящем слое. Одна из технологий сжигания твердого топлива в энергетических котлах, при которой в топке создается кипящий слой из частиц топлива и негорючих материалов. В процессе горения частицы слоя под действием струй воздуха начинают активно перемещаться так, что это поведение напоминает поведение жидкости. Этот способ позволяет снизить эмиссию токсичных веществ при сгорании. Такой способ для утилизации смешанных отходов подходит плохо, поскольку образуется высокое количество шлаков

и выбросов. Поэтому его применяют для сжигания сортированного мусора. [3]



Рис. 1. Твердые бытовые отходы

Мусорная машина или мусоровоз – грузовой автомобиль или другой вид транспорта, предназначенный для загрузки, уплотнения, транспортировки и выгрузки мусора. Как правило, машины такого рода имеют вместительный кузов, в который мусор загружается вручную либо механически, из мусорного или из другого мусоровоза.

Мусорная машина предназначена для вывоза мусора с территории населенных пунктов на свалки, мусороперегрузочные станции или мусоросжигающие заводы. [4]



Рис. 2. Мусоровоз МАЗ «Сафир-Эко» (газовый двигатель ЯМЗ-53644) [5]

Цель исследования. Обоснование повышения эффективности и ресурсосберегающей работы за счет использования генераторного газа, полученного в процессе переработки твердых

бытовых отходов в газогенераторе. Изменение работоспособности двигателя с природного газа (метан) на генераторный газ.

В качестве объекта исследования выбран мусоровоз МАЗ-Сафир на газовом двигателе – ЯМЗ-53644 CNG (рис.3).

6-цилиндровый газовый двигатель (CNG), 4-тактный, с рядным расположением цилиндров, жидкостной системой охлаждения, турбонадувом и охлаждением наддувочного воздуха в теплообменнике типа “воздух-воздух”, установленном на транспортном средстве. Степень сжатия 12. Двигатель ЯМЗ-53644 CNG на 90% унифицирован с дизельным, но переведен на цикл Отто.

Двигатель ЯМЗ-53644 CNG – по выбросам вредных веществ соответствует экологическому классу 5: правила ООН № 49-05B2 (G)Euro 5. [6].



Рис. 3. Газовый двигатель ЯМЗ-536 CNG[6].

На рисунке 4 представлены скоростные характеристики зависимости полезной мощности двигателя (N_e , л.с.) и крутящего момента (M_e , Н·м) от частоты вращения (n , мин⁻¹).

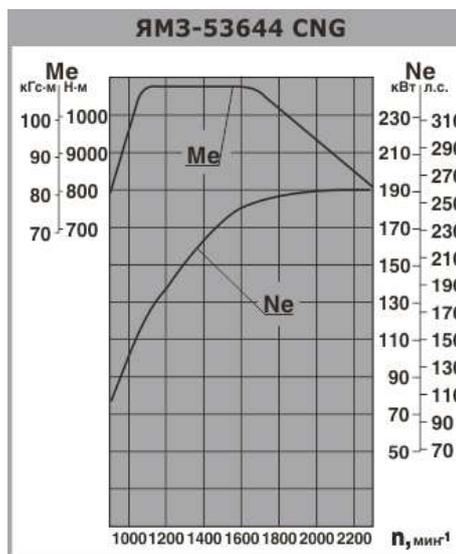


Рис. 4. Скоростные характеристики для двигателя ЯМЗ-53644 [6].

В таблице 1 представлены технические характеристики двигателя ЯМЗ-53644 CNG для автомобилей.

Таблица 1

Техническая характеристика для автомобилей	
Показатели	ЯМЗ-53644
Число и расположение цилиндров	6, рядное
Рабочий объем двигателя, л	6,65
Диаметр цилиндра/ход поршня, мм	105/128
Номинальная мощность брутто, кВт (л.с.)	191,2 (260)
Полезная мощность (Правила ООН № 85), кВт (л.с.)	190 (258,4)
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2300 ± 25
Максимальный крутящий момент брутто, Н·м (кгс·м)	1098,7 (112)
Максимальный крутящий момент (Правила ООН № 85), Н·м (кгс·м)	1080 (110,1)
Частота вращения при максимальном крутящем моменте, мин ⁻¹	1100-1600
Удельный расход газа, г/кВт·ч (норм.м ³ /кВт·ч): - минимальный при частоте вращения 1200-1500 мин ⁻¹	215,6 (0,320)
- при номинальной мощности брутто	228,3 (0,339)
Часовой расход топлива при номинальной мощности брутто, норм.м ³ /ч	39
Расход масла на угар: - удельный, г/(кВт·ч) / г/(л.с.·ч) - относительный, % от расхода топлива	0,22 (0,16) 0,1
Масса незаправленного двигателя, кг	640
Масса заправленного двигателя в комплектности поставки, кг	700
Ресурс двигателя до капитального ремонта, тыс.км пробега ТС, не менее	900
Гарантийный ресурс, км пробега ТС	100 000
Система подачи топлива	аккумуляторного типа фирмы Westport
КП и сцепление	SAE 1
Экология	Правила ООН № 49-05B2 (G) Euro 5
Средний уровень шума, дБ(А)	92,5

Результаты исследований. Для решения вопросов утилизации мусора необходим отдельный контейнер древесно-содержащих и полиэтилен-содержащих отходов для дальнейшего их использования, например, в топке кипящего слоя для сжигания дробленых топлив и горючих отходов [8] газогенератора для получения моторного газообразного топлива.

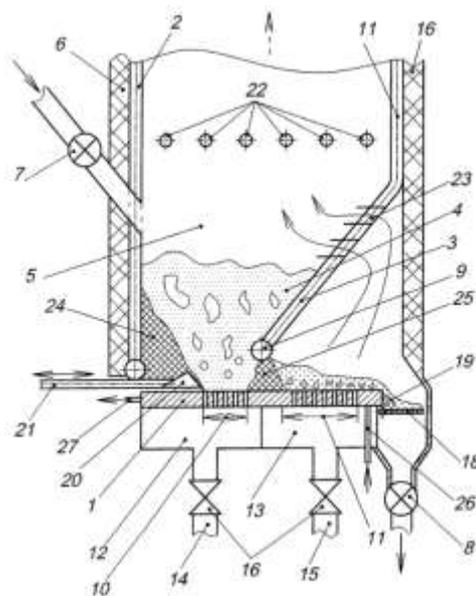


Рис. 5. Топка кипящего слоя для сжигания дробленых топлив и горючих отходов

1-неподвижная водоохлаждаемая воздухораспределительная решетка; 2-фронтальный топочный экран; 3-задний топочный экран; 4-кипящий слой; 5-надслоевое пространство; 6-передняя стена; 7-устройство ввода горючего материала; 8-устройство вывода шлака; 9-поперечный коллектор; 10-зона кипящего слоя; 11-кипятильник; 12-воздушный короб зоны 10; 13-воздушный короб зоны 11; 14 и 15-патрубки; 16 и 17-регулирующие шиберы для подачи окислителя; 18-колосник; 19-вращающийся вал; 20-шуряющая планка; 21-штанга для подвода и отвода охлаждающей воды; 22-встроенные сопла; 23-окна; 24-нижняя фронтальная зона; 25-задняя зона; 26-подводящий патрубок; 27-отводящий патрубок.

Топка кипящего слоя для сжигания дробленых топлив и горючих отходов (рис. 5) содержит:

- неподвижную водоохлаждаемую воздухораспределительную решетку 1 для сжигания дробленых топлив и горючих отходов и дожигания шлака;
- фронтальный 2, два боковых (на чертеже не показаны) и задний 3 топочные экраны;
- ограждающие кипящий слой 4 и надслоевое пространство 5, стены 6 - передняя, две боковые и задняя;
- устройство 7 ввода горючего материала, в качестве которого используются твердые дробленые топлива и горючие отходы;
- устройство 8 вывода шлака.

Над решеткой 1, расположенной в нижней части топки, установлен поперечный коллектор 9, подключенный к заднему 3 топочному экрану и разделяющий ее поверхность на зону 10 кипящего слоя и зону 11 кипятильника. При этом топочные экраны служат для защиты изнутри ограждающих стен 6.

Устройство 7 ввода топлива может быть расположено на фронтальном 2 топочном экране, например, над кипящим слоем 4.

Под решеткой 1 установлены воздушный короб 12 зоны 10 кипящего слоя и воздушный короб 13

зоны 11 выжигания шлака с подключенными к ним соответственно патрубками 14 и 15, в которых размещены регулирующие шиберы 16 и 17 для подачи окислителя, а именно воздуха, под решетку 1.

В конце решетки 1 со стороны зоны 11 кипятильника расположен опрокидывающийся колосник 18, обеспечивающий дополнительное выжигание горючих веществ в шлаке.

Колосник 18 прикреплен одним из торцов к вращающемуся валу 19, прикрепленному снизу оконечной кромки решетки 1, и снабжен пружиной, удерживающей его в горизонтальном положении (на чертеже не показана).

Топка кипящего слоя оборудована шурующей планкой 20, имеющей возможность возвратно-поступательного движения по верхней поверхности решетки 1. Шурующая планка 20 выполнена, например, с треугольным профилем в поперечном сечении, который при периодическом совершении планкой рабочих ходов обеспечивает направленное перемещение материала слоя по поверхности решетки 1 в сторону опрокидывающегося колосника 18. Шурующая планка 20 соединена со штангами 21 для подвода и отвода охлаждающей воды.

В ограждающие стены 6 над кипящим слоем 4 встроены сопла 22, через которые подается водяной пар, который получается из воды в кипятильнике 11.

В режиме ожидания шурующая планка 20 расположена на решетке 1, в ее начале, внизу фронтальной зоны 24 залегания материала кипящего слоя 4. Задняя зона 25 залегания материала кипящего слоя 4 формируется на решетке 1 между зоной 10 кипящего слоя и зоной 11 кипятильника.

Работа топки кипящего слоя для сжигания дробленых топлив и горючих отходов проводится в следующем порядке.

Топливо из устройства 7 подается в кипящий слой 4 на зону 10 кипящего слоя решетки 1. При этом через патрубок 14 с шибером 16, короб 12 и решетку 1 в кипящий слой 4 подается 30-50% воздуха, необходимого для горения; через патрубок 15 с шибером 17, короб 13 и решетку 1 под слой шлака подается 25-10% воздуха, необходимого на выжигание шлака. Около 5% воздуха присасывается через колосник 18. Расходы воздуха для горения и выжигания шлака регулируются шиберами 16 и 17. Остальная часть воздуха – 45-35% - подается в топку в надслоевое пространство 5 через сопла 22 для ввода вторичного воздуха.

Шурующая планка 20 присоединена к подвижным штангам 21, минимум двум, по которым осуществляется подвод и отвод охлаждающей воды. В режиме ожидания шурующая планка 20 размещается в начале решетки 1, внизу фронтальной зоны 24. Шурующей планкой 20 совершаются рабочие прямые, в сторону колосника 18, и обратные ходы по поверхности неподвижной воздухохораспределительной решетки 1, то есть шурующая планка 20 совершает возвратно-

поступательное движение по поверхности решетки 1. Треугольный профиль поперечного сечения шурующей планки 20 позволяет при периодическом совершении рабочих ходов перемещать материал слоя направленно по решетке 1 в сторону опрокидывающегося колосника 18. Таким образом, во время рабочего хода шурующей планки 20 через зону 10 кипящего слоя она очищает решетку 1 от шлака и шлаковых агломератов, проталкивая их под поперечным коллектором 9 через заднюю зону 25 залегания материала кипящего слоя 4 в зону 11 кипятильника. В конце рабочего хода планкой 20 шлак сталкивается с решетки 1 на колосник 18. Во время движения планки 20 осуществляется интенсивная шуровка, то есть ворошение, материала слоя на решетке 1 в зоне 11 кипятильника, что способствует интенсификации его выжигания.

Продукты сгорания и унос из зоны 11 кипятильника и с опрокидывающегося колосника 18 через окна 23 в заднем экране 13 попадают в надслоевое пространство 5, где происходит их догорание при участии водяного пара, подаваемого через сопла 22. Образующиеся при сгорании топлива на решетке 1 и колоснике 18 продукты сгорания - дымовые газы и унос - из топки направляются в конвективную часть котла. Шлак через колосник 18 сбрасывается в устройство 8 для вывода шлака.

Высокая надежность и долговечность работы воздухохораспределительной решетки 1 обеспечивается подачей в нее и отводом охлаждающей воды через патрубки 26 и 27. Решетка 1 может быть выполнена, например, в виде трубчатого каркаса, по которому прокачивается охлаждающая вода, с закрепленными на нем чугунными колосниками либо с вваренными между труб перфорированными металлическими полосами [8].

Предполагается использование данной установки для получения генераторного газа, который может быть использован в двигателе транспортных средств.

Для оценки различных вариантов и теплотворной способности получаемого синтетического горючего газа используются общеизвестные методики, изложенные в литературе (9).

Исходное топливо в том виде, в котором оно сжигается в технических устройствах, характеризуется его рабочим состоянием (индекс g) с учетом золы и влаги и имеет состав вида:

$$C_r + H_r + O_r + N_r + S_r + A_r + W_r = 100\%,$$

где представлены составляющие углерод, водород, кислород, азот, сера, зола и влага в %.

По известному опыту газогенераторных автомобилей примерный состав генераторного газа из деревянных чурок:

CO-20,9%; H₂-16,1%; CO₂-9,2%; CH₄-2,3%;
N₂-49,7%; O₂-1,6%.

Влажность топлива определяется высушиванием навески при температуре 105-110°C и в рабочем состоянии доходит до 50% и более и определяет экономическую целесообразность использования данного материала и возможность его сжигания, поскольку для превращения 1 кг воды в пар при комнатной температуре нужно затратить 2,5 МДж теплоты.

Теплота сгорания широкого круга органических веществ зависит от элементарного состава в % и хорошо определяется формулой Д.И. Менделеева:

$$Q_i = 0,34 \cdot C + 1,03 \cdot H + 0,11 \cdot (O - S) - 0,025 \cdot W, \text{ МДж / кг}$$

С учетом того, что в твердых бытовых отходах содержится до 20% полиэтилен- и пластик-содержащих материалов, проведена оценка теплотворной способности генераторного газа, получаемого из смеси древесно-содержащих и полиэтилен-содержащих бытовых отходов.

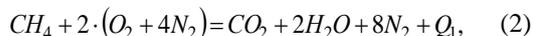
Для примерного состава генераторного газа, получаемого из древесины первоначальной влажностью 20%, приходится на 1 м³-97 г – влаги; 3,5 г – пыли; 0,5 г – смолы

$$0,054 \cdot (C_6H_{10}O_5 + 2,2 \cdot H_2O) + n \cdot (O_2 + 4N_2) = 0,161 \cdot H_2 + 0,209 \cdot CO + 0,023 \cdot CH_4 + 0,497 \cdot N_2 + 0,016 \cdot O_2 + 0,124 \cdot H_2O + Q_1, \quad (1)$$

где Q_1 – теплота, выделяемая в результате реакции получения генераторного газа из древесины.

Базовый вариант использования в двигателе в качестве топлива – метана (CH₄).

Примерное стехиометрическое уравнение сгорания метана смеси с воздухом, при коэффициенте избытка $\alpha=1,0$:



где Q_{11} – теплота, выделяемая при горении метана в цилиндрах ДВС.

Известно из теплотехники [9], что при «сжигании» 1 м³ воздуха и сгорании органического топлива выделяется 3,86 МДж теплоты, а при «сжигании» по уравнению (2) 224 м³ воздуха выделится теплота:

$$Q_{11} = 3,86 \cdot 224 = 864,64 \text{ МДж}, \quad (3)$$

Условно, в цилиндры двигателя по уравнению (2) поступило топливно-воздушной смеси в объеме:

$$V_{\Sigma} = 22,4 + 224 = 246,4 \text{ м}^3. \quad (4)$$

Эквивалентная удельная теплотворная способность 1 м³ топливно-воздушной смеси в цилиндрах ДВС:

$$Q_1^* = \frac{Q_1}{V_{\Sigma}}, \quad (5)$$

$$Q_1^* = \frac{864,64}{246,4} = 3,5 \text{ МДж / м}^3.$$

Вариант 1. Состав смеси для получения генераторного газа в процентном отношении – 90%-древесно-содержащих и 10%-полиэтилен-содержащих.

Примерное уравнение сгорания генераторного газа в двигателе имеет вид для смеси из 90%-древесно-содержащих и 10%-полиэтилен-содержащих:

$$0,161 \cdot H_2 + 0,209 \cdot CO + 0,092 \cdot CO_2 + 0,023 \cdot CH_4 + 0,497 \cdot N_2 + 0,016 \cdot O_2 + 0,124 \cdot H_2O + 0,042 \cdot C_2H_4 + 0,38 \cdot (O_2 + 4N_2) = 2,017 \cdot N_2 + 0,415 \cdot H_2O + 0,408 \cdot CO_2 + 0,039 \cdot O_2 + Q_2. \quad (6)$$

Расчетный объем поступившего на сгорание воздуха составит:

$$V_e = 0,38 \cdot 5 \cdot 22,4 = 42,56 \text{ м}^3, \quad (7)$$

Приближенно теплота сгорания равна:

$$Q_{21} = 3,8 \cdot 42,56 = 164,2816 \text{ МДж}, \quad (8)$$

Определим расчетный объем поступившего генераторного газа в цилиндры ДВС:

$$V_{\Sigma 2} = 0,042 \cdot 22,4 + 25,13 = 26,071 \text{ м}^3, \quad (9)$$

От ожидаемого генераторного газа теплотворная способность составит:

$$Q_{\Sigma 2} = \frac{Q_{21}}{V_{\Sigma 2}}, \quad (10)$$

$$Q_{\Sigma 2} = \frac{164,198}{26,0708} = 6,301 \text{ МДж / м}^3.$$

Общий объем топливно-воздушной смеси, поступившей в двигатель, равен:

$$V_{\Sigma} = V_e + V_{\Sigma 2}, \quad (11)$$

$$V_{\Sigma} = 42,56 + 26,071 = 68,63 \text{ м}^3.$$

Эквивалентная удельная теплотворная способность 1 м³ топливно-воздушной смеси в цилиндрах ДВС:

$$Q_{21}^* = \frac{164,2816}{68,63} = 2,39 \text{ МДж / м}^3. \quad (12)$$

Определим расчетный коэффициент изменения мощности двигателя, реализуемой при переводе с метана на генераторный газ, полученный из смеси твердых бытовых отходов:

$$\eta_{21} = \frac{2,39}{3,5} = 0,68. \quad (13)$$

Мощность двигателя будет равна:

$$N_e = 260 \cdot 0,68 = 176,8 \text{ л.с.} \quad (14)$$

Вариант 2. Состав смеси для получения генераторного газа в процентном отношении – 50%-древесно-содержащих и 50%-полиэтилен-содержащих.

Примерное уравнение сгорания генераторного газа в двигателе имеет вид для смеси из 50%-древесно-содержащих и 50%-полиэтилен-содержащих.

$$0,161 \cdot H_2 + 0,209 \cdot CO + 0,092 \cdot CO_2 + 0,023 \cdot CH_4 + 0,497 \cdot N_2 + 0,016 \cdot O_2 + 0,124 \cdot H_2O + 0,385 \cdot C_2H_4 + 1,409 \cdot (O_2 + 4N_2) = 6,133 \cdot N_2 + 1,101 \cdot H_2O + 1,094 \cdot CO_2 + 0,0385 \cdot O_2 + Q_3, \quad (15)$$

Расчетный объем поступившего на «сгорание» воздуха составит:

$$V_g = 1,409 \cdot 5 \cdot 22,4 = 157,808 \text{ м}^3, \quad (16)$$

Приблизительно теплота сгорания равна:

$$Q_{31} = 3,8 \cdot 157,808 = 609,138 \text{ МДж}, \quad (17)$$

Расчетный объем поступившего генераторного газа составит:

$$V_{гг} = 0,385 \cdot 22,4 + 25,13 = 33,754 \text{ м}^3, \quad (18)$$

От ожидаемого генераторного газа теплотворная способность составит:

$$Q_{гг} = \frac{Q_{31}}{V_{гг}}, \quad (19)$$

$$Q_{гг} = \frac{609,138}{33,754} = 18,046 \text{ МДж/м}^3.$$

Общий объем топливно-воздушной смеси равен:

$$V_{\Sigma} = V_g + V_{гг}, \quad (20)$$

$$V_{\Sigma} = 157,808 + 33,754 = 191,562 \text{ м}^3,$$

Эквивалентная удельная теплотворная способность 1 м³ топливно-воздушной смеси в цилиндрах ДВС:

$$Q_{31}^* = \frac{609,138}{191,562} = 3,17 \text{ МДж/м}^3, \quad (21)$$

Расчетный коэффициент изменения мощности двигателя, реализуемой при переводе с метана на генераторный газ, полученный из смеси твердых бытовых отходов:

$$\eta_{22} = \frac{3,17}{3,5} = 0,90 \quad (22)$$

Мощность двигателя будет равна:

$$N_e = 260 \cdot 0,90 = 234 \text{ л.с.}, \quad (23)$$

При переводе двигателя на природный газ в связи с тем, что снижается наполнение цилиндров на 10-13%, то мощность двигателя при переводе на генераторный газ будет уменьшаться еще больше:

Для варианта 1. Генераторный газ – 95% древесно-содержащие и 5% полиэтилен-содержащие: $N_1^* = (1-0,13) \cdot 0,66 = 0,57$.

Для варианта 2. Генераторный газ – 90% древесно-содержащие и 10% полиэтилен-содержащие: $N_2^* = (1-0,13) \cdot 0,68 = 0,59$.

Для варианта 3. Генераторный газ – 80% древесно-содержащие и 20% полиэтилен-содержащие: $N_3^* = (1-0,13) \cdot 0,78 = 0,67$.

Для варианта 4. Генераторный газ – 70% древесно-содержащие и 30% полиэтилен-содержащие: $N_4^* = (1-0,13) \cdot 0,82 = 0,71$.

Для варианта 5. Генераторный газ – 60% древесно-содержащие и 40% полиэтилен-содержащие: $N_5^* = (1-0,13) \cdot 0,87 = 0,75$.

Для варианта 6. Генераторный газ – 50% древесно-содержащие и 50% полиэтилен-содержащие: $N_6^* = (1-0,13) \cdot 0,90 = 0,78$.

Для варианта 7. Генераторный газ – 30% древесно-содержащие и 70% полиэтилен-содержащие: $N_7^* = (1-0,13) \cdot 0,98 = 0,85$.

Ожидаемая расчетная мощность газового двигателя ЯМЗ-536 CNG после перевода на генераторный газ на частоте вращения вала 2300 об/мин составит:

- вариант 1: 95% древесно-содержащие и 5% полиэтилена: $260 \cdot 0,66 = 171,6 \text{ л.с.}$;
- вариант 2: 90% древесно-содержащие и 10% полиэтилена: $260 \cdot 0,68 = 176,8 \text{ л.с.}$;
- вариант 3.: 80% древесно-содержащие и 20% полиэтилена: $260 \cdot 0,78 = 202,8 \text{ л.с.}$;
- вариант 4.: 70% древесно-содержащие и 30% полиэтилена: $260 \cdot 0,82 = 213,2 \text{ л.с.}$;
- вариант 5.: 60% древесно-содержащие и 40% полиэтилена: $260 \cdot 0,87 = 226,2 \text{ л.с.}$;
- вариант 6.: 50% древесно-содержащие и 50% полиэтилена: $260 \cdot 0,90 = 234 \text{ л.с.}$;
- варианта 7.: 30% древесно-содержащие и 70% полиэтилена: $260 \cdot 0,98 = 254,8 \text{ л.с.}$

Результаты расчетов показаны на рис. 6.

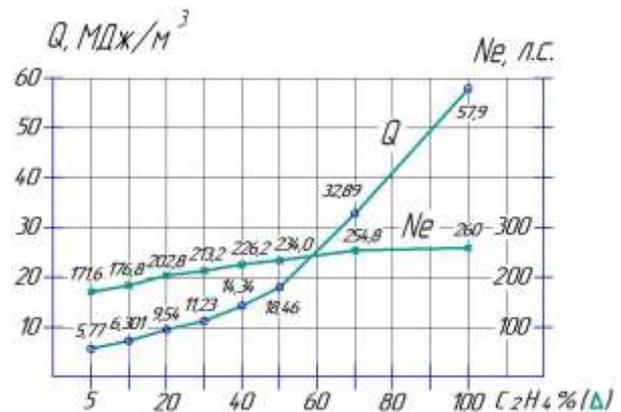


Рис. 6. График зависимости теплотворной способности Q и мощности двигателя Ne от содержания полиэтилена Δ в твердых бытовых отходах

Ожидаемая себестоимость получения 1 м³ синтетического генераторного газа составит 10 руб. на м³ для установки переработки твердых бытовых отходов в городском жилищно-коммунальном хозяйстве.

Выводы. Анализ зависимости коэффициента относительной мощности двигателя внутреннего сгорания от содержания полиэтилена твердых бытовых отходов на газогенераторе показывает, что:

- при отсутствии полиэтиленовых отходов мощность двигателя падает на 59% от уровня мощности работы на метановом газе C_2H_4 , а при 50% содержания полиэтилена в твердых бытовых отходах мощность двигателя падает до 79% номинальной мощности.

- приемлемым можно считать перевод газового двигателя на генераторный газ, полученный из твердых бытовых отходов, содержащих 90% древесно-содержащих (бумага, картон, опилки, стружки) и 10% полиэтилен- и полистирол-содержащих (полиэтиленовые тубы, пакеты, и другое).

- ожидаемая расчетная мощность двигателя снизится с 260 л.с. при работе на природном газе до 176,8 л.с, что составит 68% от номинальной мощности. Это допустимо и целесообразно при использовании на автомобилях мусоровозах в городском жилищно-коммунальном городском хозяйстве в условиях перевода на ресурсосберегающие технологии моторных топлив собственного производства из твердых бытовых отходов.

Литература

1. Пахомова Н. В., Рихтер К. К., Ветрова М. А. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития // Вестник СПбГУ. Экономика. 2017. Т. 33. Вып. 2. С. 244–268.
2. Переработка мусора (ТБО) – инвестиции в будущее [Электронный ресурс]. – URL: <https://ztbo.ru/>.
3. Сортировка мусора в Германии [Электронный ресурс]. – URL: <https://ztbo.ru/o-tbo/stati/obshie/sortirovka-musora-v-germanii> (дата обращения 12.02.2019).
4. Википедия. Свободная энциклопедия // Мусоровоз [электронный ресурс] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Мусоровоз/> (дата обращения: 13.06.2018).
5. Сапфир-Эко - мусоросборщик от МАЗ [электронный ресурс] – ссылка на ресурс - <http://maz500.com.ua/p368-sapfir-eko-musorosborschik-ot-maz.html> — 2015. (дата обращения: 15.04.2018).
6. ЯМЗ 53644. Газовый двигатель CNG [электронный ресурс] – ссылка на ресурс - <http://www.ymzmotor.ru/>(дата обращения: 15.04.2018).
7. Кубин М. Сжигание твердого топлива в кипящем слое / М. Кубин; перевод с чешск. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - С.35-36, рис.15.
8. Скрыбин А.А., Сидоров А.М., Пузырев Е.М., Шарапов М.А.: Топка кипящего слоя для сжигания дробленых топлив и горючих отходов. Патент RU 2300051 С1. Бюл. №15. 27.05.2007.
9. Теплотехника: Учеб. для вузов/ А.П. Баскаков, Б.В.Берг, О.К.Витт и др.; Под ред. А.П.Баскакова.- Изд.2-е., перераб.- М.: Энергоатомиздат.1991. - 224 с.ил.

References

1. Pahomova N. V., Rihter K. K., Vetrova M. A. Perekhod k cirkulyarnoj ekonomike i zamknutym cepyam postavok kak faktor ustojchivogo razvitiya // Vestnik SPbGU. Ekonomika. 2017. T. 33. Vyp. 2. S. 244–268.
2. Garbage processing (SDW) –investing in the future [electronic resource] – URL: <https://ztbo.ru/>.

3. Garbage sorting in Germany[electronic resource] – URL:<https://ztbo.ru/o-tbo/stati/obshie/sortirovka-musora-v-germanii> (дата обращения 12.02.2019).

4. Wikipedia. Free encyclopedia // Garbage truck [electronic resource] – URL:<https://ru.wikipedia.org/wiki/Мусоровоз/> (дата обращения: 13.06.2018).

5. Sapphire-eco - the garbage truck - the link to the resource-<http://maz500.com.ua/p368-sapfir-eko-musorosborschik-ot-maz.html> — 2015. (дата обращения: 15.04.2018).

6. JAMZ-53644. Gas engine CNG[electronic resource] – the link to the resource -<http://maz500.com.ua/p368-sapfir-eko-musorosborschik-ot-maz.html> — 2015. (дата обращения: 15.04.2018).

7. Kubin M., the Combustion of solid fuels in fluidized bed / M. Kubin; translated from the Czech. - M.: Energoatomizdat, 1987. - P. 35-36, fig. 15.

8. Scriabin A. A., Sidorov M. A., Puzyrev E. M., Sharapov M. A.: fluidized bed Furnace for burning crushed fuels and combustible waste. Patent RU 2300051 C1. Bul. No. 15. 27.05.2007.

9. Teplotekhnika: Uchebnik dlya Wuzow/ A.P.Baskakov, B.W.Berg, O.K.Witt; Pod .A.P. BaskakovIzd. 2 pererab.- M.: Energoatomizdat. 1991.- 224 s.il.

Gubacheva L.A., Andreev A.A., YangolYu.R EFFICIENCY OF THE RESOURCE-SAVING WORK OF TRANSPORT ON THE GENERATION GAS

The issues of resource saving for the processing of solid domestic waste (MSW), sorting of wood-containing and polyethylene-containing waste for the production of motor gaseous fuel in the gas generator are considered. The negative impact of MSW on the environment, leading to climate change, is aimed at finding solutions to ensure comfortable living conditions and daily activities. The rapid development of technology and technology related to the fourth industrial revolution.

Key words: resource saving, municipal solid waste, sorting, processing, generation gas, Industry 4.0.

Губачева Лариса Александровна, д.т.н., профессор, заведующая кафедры «Промышленный и городской транспорт». ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: gubacheva_snu@bk.ru

Gubacheva Larisa Alexandrovna, doctor of technical Sciences, Professor of the Department “Industrial and urban transport” State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: gubacheva_snu@bk.ru

Андреев Александр Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Промышленный и городской транспорт». ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Andreev Alexander Alexandrovich, Candidate of Sciences, As.Professor of the Chair “Industrial and urban transport”. State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Янголь Юлия Романовна, магистрант кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля» г. Луганск.

E-mail: yngol.julia@mail.ru

Yngol Yulia Romanovna, master student of the Department "Industrial and urban transport" State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: yngol.julia@mail.ru

Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 29.03.2019 года

УДК 629.427.004.5 (7)

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОЕЗДА

Губачева Л.А., Андреев А.А., Лотарев И.С.

INVESTIGATION AND ORGANIZATION OF NO-FAILURE OPERATION OF REPAIR-WRECKING TRAIN

Gubacheva L.A., Andreev A.A., Lotarev I.S.

Рассмотрены вопросы организации работы ремонтно-восстановительного поезда на железной дороге в чрезвычайных ситуациях, связанных с удалением старых и установкой новых участков рельсов, восстановлением насыпной призмы и заменой взаимозаменяемых деревянных шпал по креплению с железобетонными шпалами.

Ключевые слова: железнодорожный путь, верхнее строение пути, чрезвычайное положение, технология работы пути, рельсы, шпалы, механизмы .

Постановка проблемы. В ходе боевых действий и стихийных бедствий в ЛНР большое количество железнодорожного пути было повергнуто авиационным, минометным и артиллерийским обстрелам. В результате были разрушены шпалы, рельсы и верхнее строение пути. Отсутствие ремонтных поездов и железобетонных шпал не позволяло восстановить железнодорожную инфраструктуру в кратчайшие сроки.

Целью настоящего материала является обоснование возможности модернизации деревянных шпал взаимозаменяемых с железобетонными по креплению и разработка мобильного ремонтно-восстановительного железнодорожного поезда.

Материалы исследования. На рис. 1 представлен пример состояния места разрыва рельсов и разрушения железобетонных шпал и верхнего строения пути. На рис. 2 представлен пример разрушения рельсов и деревянных шпал, разрушения стыков, образования воронок в земляном полотне.

Разрушение стыкового соединения выводит из строя сразу два звена, накладку, шпалы и рельсошпальное крепление.

Первоочередной задачей обеспечения транспортных перевозок по железной дороге в чрезвычайных ситуациях является восстановление транспортной инфраструктуры в кратчайшее время с использованием местных материальных ресурсов



Рис.1. Разрыв рельсов и разрушение железобетонных шпал и верхнего строения пути



Рис.2. Разрушение рельсов и деревянных шпал, разрушение стыков, образование воронок в земляном полотне

Результаты исследований.

Вследствие боевых действий и разрушений для восстановления железнодорожного пути потребовалось более 7 тыс. железобетонных шпал, которых не было в наличии. Одним из путей решения задачи быстрого восстановления разрушенных путей является проведение исследований по модернизации шпал из местных пород древесины, взаимозаменяемых по скреплениям со стандартными железобетонными шпалами и подбору оснащения для оборудования при механизации восстановительных работ.

Для решения поставленной задачи были изучены технологии текущего ремонта железнодорожного пути с железобетонными шпалами, включающие следующие операции: откручивание болтов накладок рельса, поднятие и удаление рельсов, удаление щебеночного покрытия, выравнивание балластной призмы, установка новых рельсов, установка шпал, засыпка щебнем, подбивка пути. Было установлено, что без техники осуществить ремонт и восстановление пути не представляется возможным, т.к. железобетонная шпала имеет вес 240 кг. Для выполнения операций восстановления необходим мобильный ремонтно-восстановительный поезд и альтернативный вариант замены железобетонной шпалы.

Анализ проведенных исследований по выявлению видов разрушения железнодорожной инфраструктуры показал необходимость создания мобильного ремонтно-восстановительного железнодорожного поезда для качественного восстановления железнодорожного пути и контактной сети, поврежденных в результате чрезвычайных ситуаций. Для ремонтно-восстановительных работ необходима транспортная техника, технические характеристики которой представлены в источниках [1-4].

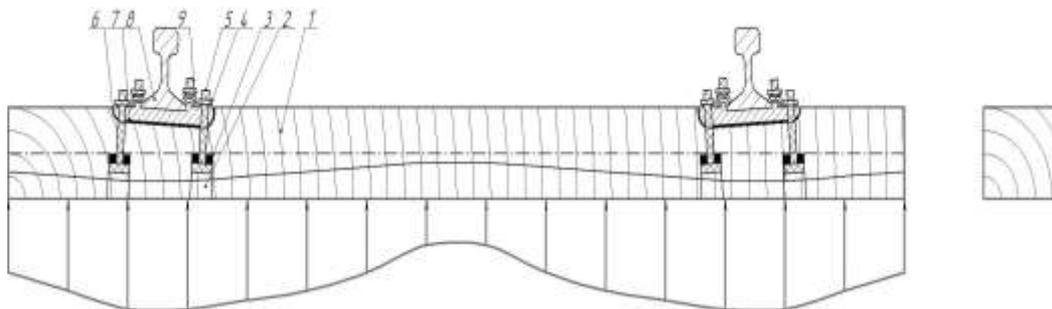


Рис.3. Схема усовершенствованной деревянной шпалы унифицированной
1-деревянная шпала, 2-отверстие, 3-шайба, 4-гайка, 5-закладной болт, 6-прокладка, 7-подкладка от железобетонной шпалы, 8-рельс, 9-скоба

Предлагается усовершенствование железнодорожной деревянной шпалы путем изменения формы верхних постелей. Предлагаемая конструкция деревянной унифицированной шпалы, представленная на рис.3, состоит из шпалы 1, имеющей нижнюю постель для укладки на щебень, тело с отверстиями 2 под шайбы 3 и гайки 4 для закладных болтов 5, верхние постели под прокладки 6 с подуклонкой 1:20 вниз к середине шпалы, подкладку 7 от железобетонной шпалы, рельс 8 и скобу 9. Показана ось шпалы до нагрузки и изогнутая – под нагрузкой. Предлагаемая конструкция позволит обеспечить взаимозаменяемость с железобетонными шпалами по элементам крепления шпал с рельсами и повысит устойчивость к опрокидыванию и отжатию рельсов.

На кафедре «Промышленный и городской транспорт» Луганского национального университета имени Владимира Даля в течение ряда лет проводились работы по усовершенствованию подвижного состава железнодорожного транспорта и по результатам которых получены ряд патентов [5-8].

С целью повышения динамических качеств подвижного состава и усовершенствования верхнего строения пути было разработано техническое решение по изменению эластичной прокладки для рельсовой подкладки [9,10].

Для обоснования конструкции взаимозаменяемой шпалы ниже представлена расчетная схема предлагаемой в виде консоли универсальной шпалы. Для расчетов использовались известные методики технической механики и сопротивления материалов [11,12].

Альтернативный вариант представляет собой замену железобетонной шпалы на деревянную. Известна деревянная шпала унифицированная (ГОСТ 78-65) из различных пород древесины (например, красного клёна, лиственницы, кедра, сосны, пихты).

Для обеспечения взаимозаменяемости с железобетонными шпалами необходимо применить технологию дополнительной обработки, которая заключается в изготовлении постели под накладку с уклоном 1:20, а так же сверление шпалы под закладные болты и упорные шайбы со стороны подошвы шпалы. После изготовления постели сверху высверливается отверстие под болты и затем снизу высверливается отверстие большого диаметра под упорные болты.

На рис.4 представлена схема деревянной шпалы унифицированной (вид сбоку) и действующие на нее силы при контакте колеса с рельсом, для определения напряжений и крутящих моментов в опасных сечениях взаимозаменяемых шпал.

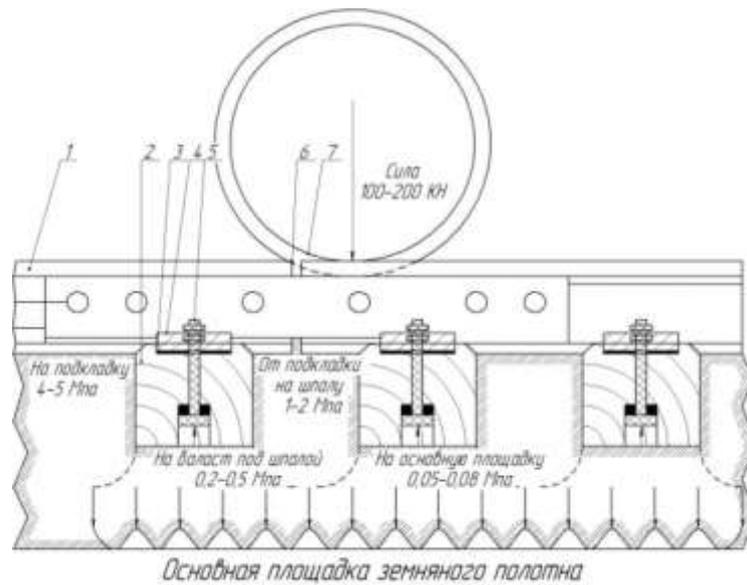


Рис.4. Схема деревянной шпалы унифицированной вид сбоку и действующие силы. 1-рельс, 2-деревянная шпала, 3-накладка, 4-скоба, 5-закладной болт, 6-стык, 7-колесо

При расположении колес над стыковым соединением рельсов на шпалу действует сила:

$$P_{ш} \approx \frac{P}{3} = \frac{120000}{3} = 40000 \text{ H};$$

$$P = 120000 \text{ H};$$

$$q = \frac{2 \cdot 120000}{2,7} = 89000 \text{ H/M};$$

Эквивалентные напряжения в зоне подкладки деревянной взаимозаменяемой шпалы определяем по энергетической теории прочности:

$$\sigma_{эkv} = \sqrt{\sigma_u^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma];$$

где σ_u - напряжение от изгиба;

τ - касательные напряжения от перерезывающих сил.

Для определения изгибающих и касательных напряжений в опасных сечениях воспользуемся расчетной схемой модели консоли шпалы под рельсом, приведенной на рис. 5.

Построим эпюры перерезывающих сил Q и изгибающих моментов M в опасных сечениях, C и B .

$$q = \frac{2 \cdot P_{ш}}{L} = \frac{2 \cdot 40000}{2,7} = 29600 \text{ H/M};$$

$$Z_B = q \cdot BD = 29600 \cdot 17500 \text{ H}$$

$$Q_c = q \cdot 0,435 = 12900 \text{ H};$$

$$Q_B = q \cdot 0,590 = 29600 \cdot 0,590 = 17400 \text{ H}.$$

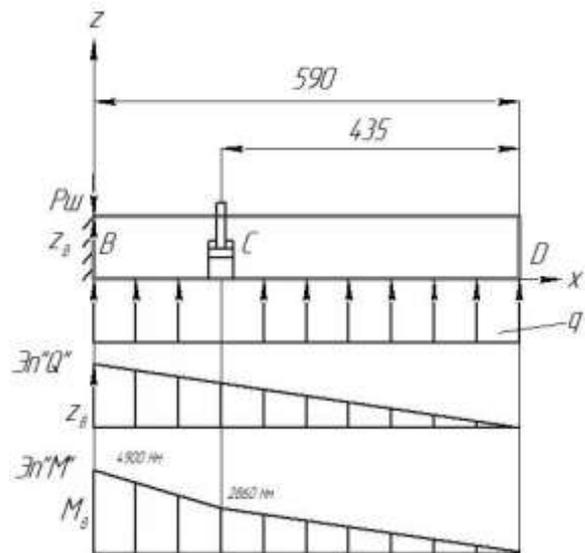


Рис. 5. Расчетная схема модели консоли шпалы

Элементарный момент изгиба шпалы со стороны призмы.

$$l = 0,435 \text{ м} \rightarrow M_c = \frac{29600}{2} \cdot 0,435^2 = 2810 \text{ Hм};$$

$$l = 0,590 \text{ м} \rightarrow M_B = \frac{29600}{2} \cdot 0,590^2 = 4900 \text{ Hм};$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,25 \cdot 0,16^2}{6} = 0,001065 \text{ м}^3;$$

Тогда, расчетное напряжение в нижних волокнах шпалы от изгиба составляет:

$$\sigma_{HC} = \frac{M_C}{W_Y} = \frac{281000}{0,001065} = 2,64 \text{ МН / м}^2;$$

$$\sigma_{HB} = \frac{M_B}{W_Y} = \frac{490000}{0,001065} = 4,6 \text{ МН / м}^2;$$

Особое значение имеет величина перерезывающих сил, вызывающих касательные напряжения. Для сечения С без отверстий для закладных болтов расчетное касательное напряжения равны.

$$\tau_c = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{bh} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1290000}{0,25 \cdot 0,16} = 0,48600 \text{ МН / м}^2;$$

В сечении В касательное напряжение равно:

$$\tau_B = \frac{3}{2} \cdot \frac{1740000}{0,25 \cdot 0,16} = 0,625 \text{ МН / м}^2;$$

$$\tau_{cp} = 0,625 [\sigma] = [\tau_{cp}]$$

По энергетической теории прочности эквивалентное напряжение для обычное шпалы деревянной в точке С составляет:

$$\sigma_{эвС} = \sqrt{2,64^2 + 3 \cdot 0,486^2} = 2,785 \text{ МН / м}^2 [420] = [\sigma_c];$$

$$\sigma_{эвВ} = \sqrt{4,6^2 + 3 \cdot 0,65^2} = 4,89 \text{ МН / м}^2 \leq [420] = [\sigma_c];$$

В случае расположения в теле деревянной шпалы сквозного отверстия, момент сопротивления изгиба в сечении С уменьшается.

На рис.6 представлена деревянная шпала унифицированная (разрез вид сбоку) для определения напряжения в сечении.

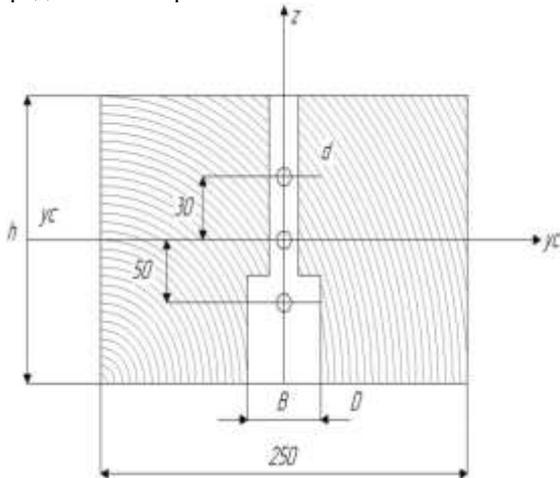


Рис.6. Деревянная шпала унифицированная (разрез вид сбоку)

$$W_{yc} = W_y - \frac{0,25 \cdot 0,06 \cdot 0,05^2}{12 \cdot 0,08} - \frac{0,02 \cdot 0,100 \cdot 0,03^2}{12 \cdot 0,08} = 0,01065 - 0,00008 - 0,00009 = 0,001048 \text{ м}^3;$$

Расчетное напряжении в сечении С равно для проектной шпалы.

$$\sigma_{cn} = \frac{M_c}{W_{yc}} = \frac{2810}{0,001048} = 2,685 \text{ МН / м}^2;$$

Более сложный расчет касательных напряжений от перерезывающих сил в сечении С со сквозным отверстием.

$$\tau_{cn} = \frac{Q \cdot S_{omc}}{I_{yc} \cdot B};$$

где S_{omc} - статический момент отсеченной части поперечного сечения, I_{yc} - момент инерции сечения С.

$$I_{yc} = \frac{bh^3}{12} - D \cdot h_1 \cdot h_{10}^2 - d \cdot h_2 \cdot h_{20}^2 = \frac{0,25 \cdot 0,16^2}{12} - 0,06 \cdot 0,06 \cdot 0,05^2 - 0,02 \cdot 0,1 \cdot 0,03^2 = 0,0005235 \text{ м}^4;$$

$$S_{omc} \approx (0,08 \cdot 0,25 - 0,02 \cdot 0,05) \cdot 0,04 = 0,008 \text{ м}^3;$$

$$\tau_{cn} = \frac{1290000 \cdot 0,008}{0,0005235 \cdot 0,25} = 0,785 \text{ МН / м}^2;$$

Расчетное эквивалентное напряжение в сечении С при сквозном отверстии по энергетической теории прочности составляет:

$$\sigma_{эвСП} = \sqrt{2,685^2 + 3,0785^2} = 3,1 \text{ МН / м}^2 < [420] = [\sigma_c];$$

Основную роль в снижении прочности шпалы в условиях повторных переменных нагрузок играют сквозные отверстие для закладных болтов крепления рельсов и шпал. Поэтому в зоне установки закладных болтов крепления рельсов к шпалам необходимо определить расчетное эквивалентное напряжения по энергетической теории прочности и сравнить с допустимым:

$$\sigma_{max} = \sigma_n \cdot \infty;$$

где $\sigma_n = \frac{M}{W_y}; \infty = 3,1; \frac{d}{B} = \frac{0,02}{0,25} = 0,08$

$$\sigma_{max} \approx 3,1 \cdot 2,685 = 8,3 \text{ МН / м}^2 < [420] = [\sigma_c]$$

т.о. условие прочности выполняется.

Для подтверждения полученных расчетов воспользуемся методом моделирования. Исследование физически подобных процессов производится на моделях, сохраняющих физическую природу явления, но воспроизводящих их в других размерах в смысле геометрическом или физическом. В данной статье физическая модель реализована на малогабаритных макетах.

Внешний вид макетов представлен на рисунках: железобетонной шпалы (рис. 7) и усовершенствованной деревянной шпалы, взаимозаменяемой по креплению, с размещением подкладок (рис.8).

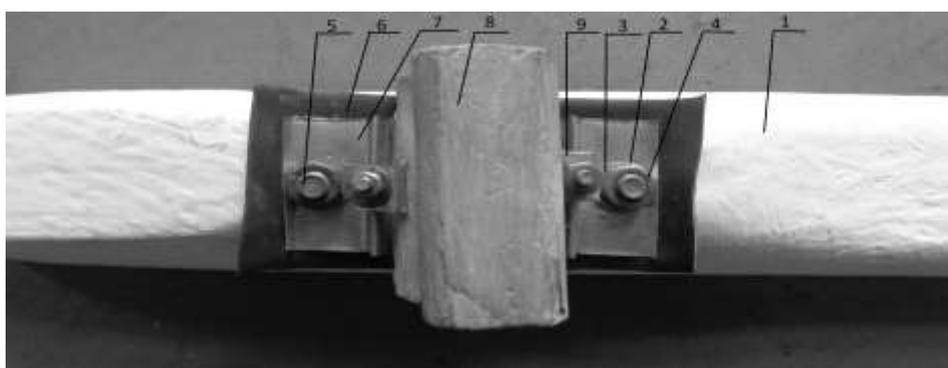
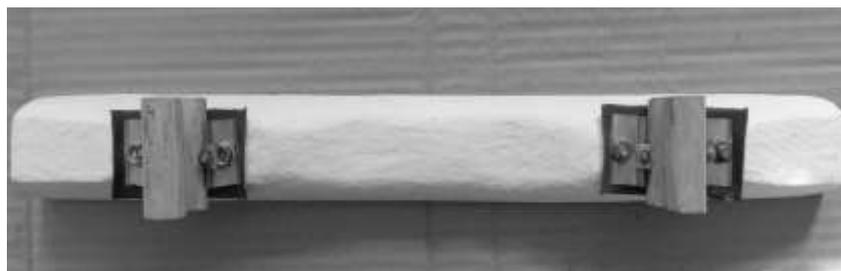


Рис.7 Макет железобетонной шпалы:

1-железобетонная шпала; 2-отверстие; 3-шайба; 4-гайка; 5-закладной болт; 6-прокладка; 7-подкладка; 8-рельс; 9-скоба

На рис. 8 представлен макет усовершенствованной деревянной шпалы унифицированной.

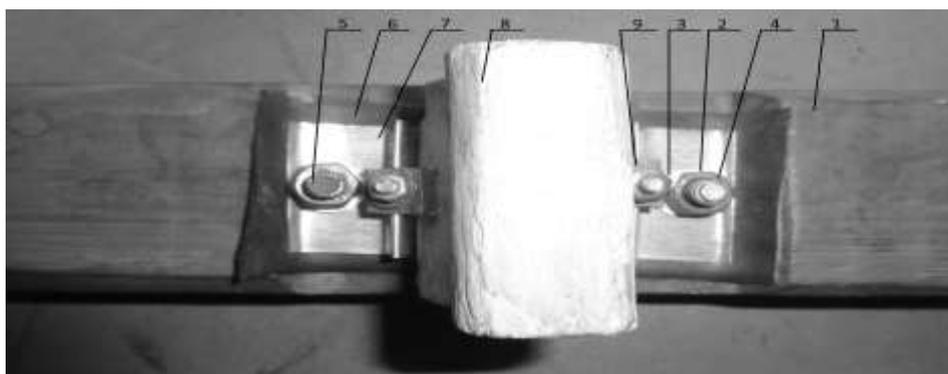
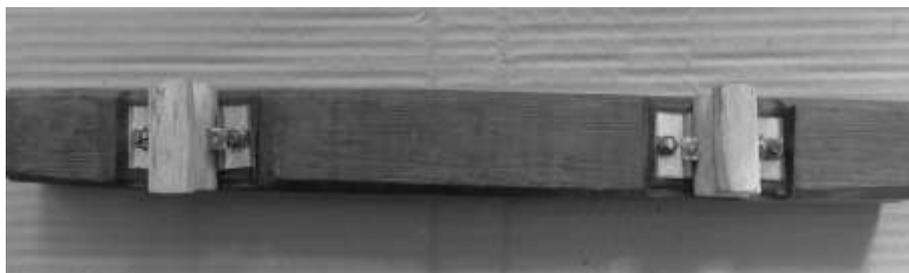


Рис. 8. Макет усовершенствованной деревянной шпалы унифицированной

1-деревянная шпала универсальная; 2-отверстие; 3-шайба; 4-гайка; 5-закладной болт; 6-прокладка; 7-подкладка от железобетонной шпалы; 8-рельс; 9 скоба

Макет усовершенствованной деревянной шпалы унифицированной, представленной на рис.8, состоит из шпалы унифицированной 1, в которой просверлено отверстие 2 под шайбы 3 и гайки 4 для закладных болтов 5; на шпалу унифицированную ложится резиновая прокладка 6, а на прокладку ставится подкладка от железобетонной шпалы 7,

подкладка к шпале универсальной крепится закладными болтами M22x175 с двух сторон по одному с каждой стороны относительно рельса 8, и скобы 9.

На рис. 9 представлен макет усовершенствованной шпалы унифицированной с установленной колесной парой.



Рис. 9. Макет шпалы универсальной с установленной колесной парой

На рис. 10 представлена схема ремонтного поезда для капитального ремонта.

На рис.11 представлен график основных работ в «Окно» при капитальном ремонте. «Окно» в графике движения поездов – время, в течение которого движение поездов по перегону, отдельным путям перегона или через станцию прекращается для производства ремонтно-строительных или монтажных работ.

К работам, для выполнения в «окно», при ремонте относятся: малый, средний, капитальный, и подъемочные ремонты пути, сплошная смена рельсов, укладка плетей бесстыкового пути, смена

стрелочных переводов, ремонт мостов и тоннелей, ремонт и монтаж устройств контактной сети, воздушных линий, устройств СЦБ, лечение и усиление земляного полотна, планово-предупредительная выправка пути с использованием машинных комплексов, ремонт водоотводных сооружений машинными комплексами, ремонт механизированных и автоматизированных горок, некоторые работы при строительстве вторых путей и электрификации железных дорог, когда требуется выезд на перегон установочных, монтажных поездов, автомотрис и автодрезин.

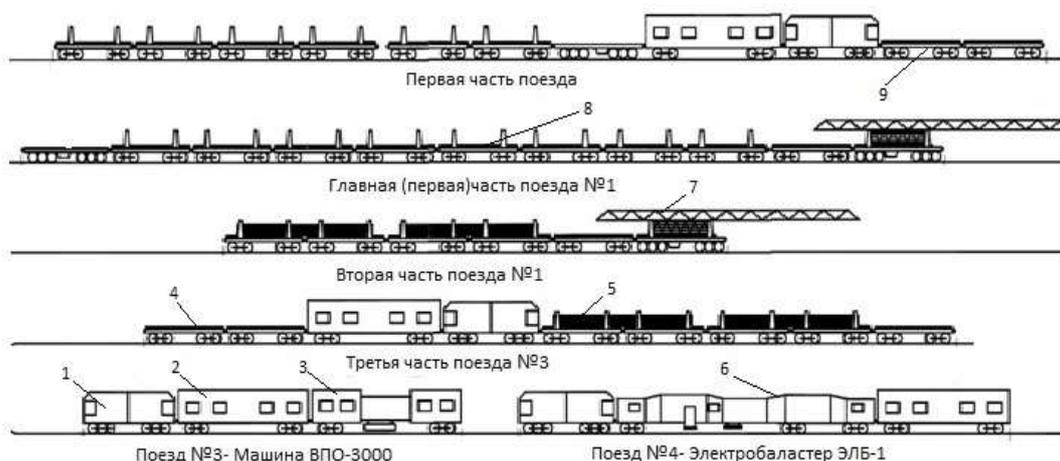


Рис. 10. Ремонтный поезд для капитального ремонта:

1-тепловоз, 2-пассажирский модуль, 3-машина ВПО-3000, 4-вагон платформа, 5-вагон с рельсошпальной решеткой, 6-электробалластер ЭЛБ-1, 7-железнодорожный кран, 8-вагон платформа с шпалами, 9-вагон платформа

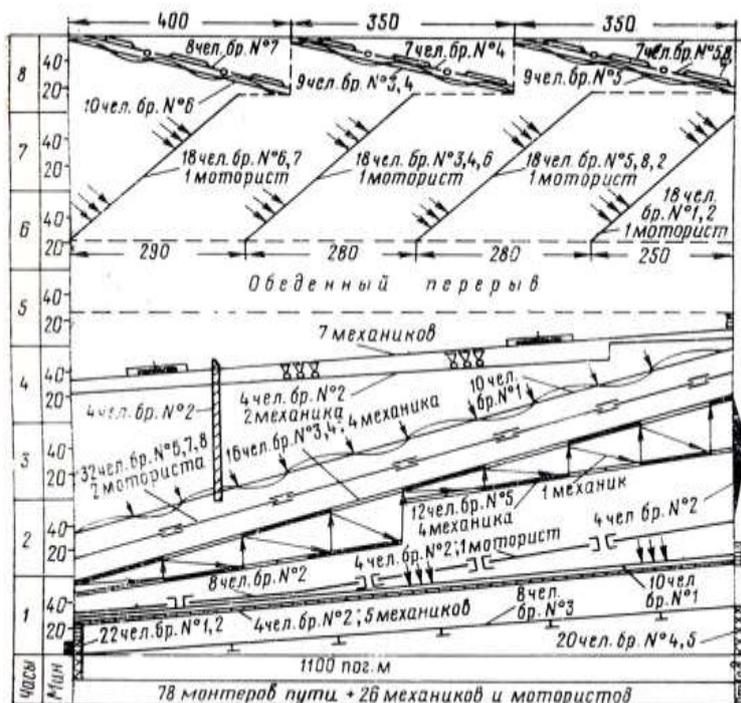


Рис.11 График основных работ в «Окно» при капитальном ремонте

Кроме того, «окна» предоставляются для проведения восстановительных работ при повреждении устройств контактной сети, воздушных линий, линий электроснабжения и оборудования СЦБ.

При эксплуатации железной дороги выяснилось, что в зоне повреждений пути затруднительно использовать ремонтный поезд для капитального ремонта из-за отсутствия необходимых материалов в достаточном количестве и их доставки к месту работ с разгрузкой и раскладкой их по фронту. Закрытие перегона для выполнения большинства подготовительных и отделочных работ не позволяло восстановить железнодорожную инфраструктуру в кратчайшие

сроки. Производство многих путевых работ связано с временным ослаблением пути, нарушением его целостности и занятием перегона, поэтому они не могут выполняться без увязки с графиком движения поездов.

На рис.12 представлена схема предлагаемого мобильного ремонтно-восстановительного железнодорожного поезда, который состоит из машины СШМ-1; вагона-платформы с рельсами и шпалами 2; бульдозера 3; грузопассажирского модуля 4. Грузопассажирский модуль оснащен кабиной для перевозки ремонтного состава; бульдозером; механизмом поворота трапа; дополнительно оснащен фонарем и магнитными приемниками для сигнализации и блокировки.

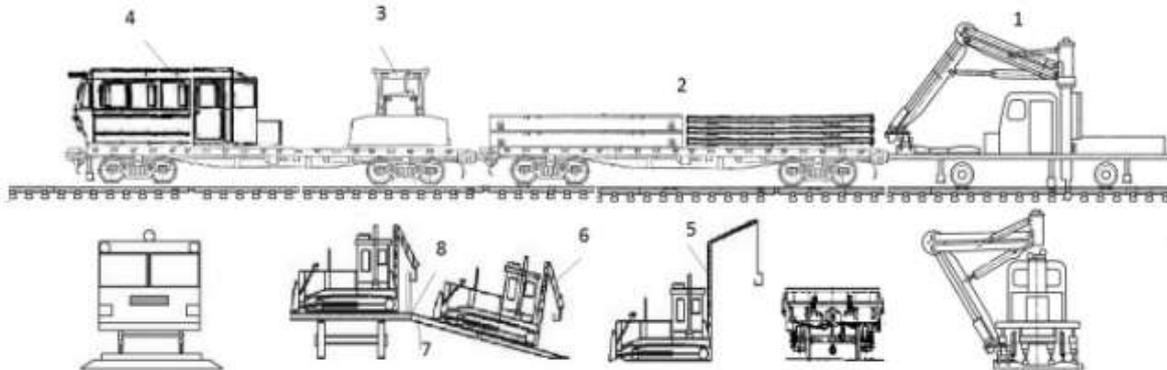


Рис.12. Схема мобильного ремонтно-восстановительного железнодорожного поезда
1-машина СШМ-1; 2-вагон платформа с рельсами и шпалами; 3-бульдозер; 4-грузопассажирский модуль;
5,6-стрела крана; 7,8-трап

Бульдозер оборудован краном 5 (кран в транспортируемом состоянии 6). Грузопассажирский модуль оснащен трапом для заезда бульдозера 7 (трап в транспортируемом состоянии занимает положение 8).

МРВЖП находится в распоряжении локомотивных депо и различается по мощности и оснащению в зависимости от вида выполняемых работ.

С помощью МРВЖП производится одиночная замена деревянных шпал. Для данного поврежденного участка требуется произвести осмотр участка. На участке замеряются поврежденные рельсы и удаляются при помощи бензореа и свариваются сваркой. На данном участке производится удаление разрушенной железобетонной шпалы в шпальный ящик при помощи лебедки или путевой машины ШСМ-1. Поврежденные шпалы складываются на обочине, грузятся и вывозятся бульдозером с данного ремонтируемого участка. На земляном полотне, где много воронок, осуществляется подсыпка щебнем и выравнивание бульдозером.

Выводы.

1. Для восстановления железнодорожного полотна было необходимо 7 тысяч шпал (железобетонных весом 1680 т. или деревянных шпал весом 490 т.).

2. Для уменьшения трудоемкости работ по восстановлению железнодорожного полотна предлагается использовать деревянные шпалы взаимозаменяемые с железобетонными как альтернативный вариант.

3. Для восстановления разрушенных железнодорожных путей целесообразно формирование мобильного ремонтно-восстановительного железнодорожного поезда, в состав которого входит машина ШСМ-1, вагон платформа с рельсами и шпалами, грузопассажирский модуль, оборудованный трапом для съезда и выезда бульдозера.

4. Возобновление движения железнодорожного транспорта достигается при проведении работ поездом МРВЖП, что обеспечивает минимальные потери и безопасность при движении по восстановленному рельсовому полотну.

Литература

1. Автоматрисы, автодрезины: Управление и обслуж.: ил. пособие / В. В. Воробьев, М. А. Самсонов, В. Е. Чекулаев. - Москва: Транспорт, 1987. - 215 с.

2. Одиночная смена шпал и переводных брусьев [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://scbist.com/wiki/12188-odinochnaya-smena-shpal-i-perevodnyh-brusev.html>

3. Капитальные путевые работы [Текст] / К. А. Блохин, С. А. Пашинин. - Москва: Трансжелдориздат, 1962. - 327 с.

4. Дорожные машины Ч. 1: Машины для земляных работ: (Теория и расчет) / Авт. Т. В. Алексеева, К. А.

Артемов, А.А. Бромберг [и др.]. - Москва: Машиностроение, 1972. - 504 с.

5. Патент Украины № 37889 Локомотив / Андреев А.А., Губачева Л.А., Тараканов А.В.; патентообладатель Восточноукраинский национальный университет им. Вл. Даля. - № u200809529; заявл. 25.03.2010; опубл. 10.12.2008, Бюл. №23.

6. Патент Украины № 48580 Тяговый агрегат / Голубенко А.Л., Губачева Л.А., Андреев А.А.; патентообладатель Восточноукраинский национальный университет им. Вл. Даля. - № u200909882; заявл. 28.09.2009; опубл. 25.03.2010, Бюл. №6.

7. Патент Украины № 56776 Локомотив / Андреев А.А., Губачева Л.А., Тараканов А.В.; патентообладатель Восточноукраинский национальный университет им. Вл. Даля. - № u201008676; заявл. 12.07.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. №2.

8. Патент Украины № 75254 Локомотив / Губачева Л.А., Андреев А.А., Пудова В.О.; патентообладатель Восточноукраинский национальный университет им. Вл. Даля. - № u201205868; заявл. 14.05.2012; опубл. 26.11.2012, Бюл. №22.

9. Патент Украины № 48664 Эластичная прокладка для подкладки / Голубенко А.Л., Губачева Л.А., Андреев А.А., Балацкий В.О.; патентообладатель Восточноукраинский национальный университет им. Вл. Даля. - № u200910843; заявл. 27.10.2009; опубл. 25.03.2010, Бюл. №6.

10. Патент Украины № 72269 Эластичная прокладка для подкладки рельсового скрепления / Губачева Л.А., Андреев А.А., Мирошниченко Р.А.; патентообладатель Восточноукраинский национальный университет им. Вл. Даля. - № u201201602; заявл. 14.02.2012; опубл. 10.08.2012, Бюл. №15.

11. Прикладная механика: [Для вузов по курсам "Сопротивление материалов", "Теория механизмов и машин", "Детали машин"] / Г. Б. Иосилевич, П. А. Лебедев, В. С. Стреляев. - Москва: Машиностроение, 1985. - 575 с.

12. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Киев: Наукова думка, 1988. - 734 с.

References

1. Railcars, auto tires: Control and maintenance. : II. manual / V.V. Vorobiev, M.A. Samsonov, V.E. Chekulaev. - Moscow: Transport, 1987. - 215 p.

2. Single change of sleepers and conversion bars [Electronic resource]. - Access mode: <http://scbist.com/wiki/12188-odinochnaya-smena-shpal-i-perevodnyh-brusev.html>

3. Capital travel work [Text] / KA Blokhin, S. A. Pashinin. - Moscow: Transzheldorizdat, 1962. - 327 p.

4. Road cars. 1: Machines for excavation: (Theory and calculation) / Aut. TV Alekseeva, K. A. Artemyev, A. A. Bromberg [and others]. - Moscow: Mechanical Engineering, 1972. - 504 s.

5. Patent of Ukraine No. 37889 Lokomotiv / Andreev A.A., Gubacheva L.A., Tarakanov A.V. ; patent holder East Ukrainian National University. VI. Dahl. - № u200809529; declare 03.25.2010; publ. 10.12.2008, Bull. No. 23

6. Patent of Ukraine No. 48580 Traction unit / A. Golubenko, L. Gubacheva, A. Andreev; patent holder East Ukrainian National University. VI. Dahl. - № u200909882; declare 28.09.2009; publ. 25.03.2010, Bull. № 6.

7. Patent of Ukraine No. 56776 Lokomotiv / Andreev A.A., Gubacheva L.A., Tarakanov A.V.; patent holder East Ukrainian National University. VI. Dahl. - № u201008676; declare 07.12.2010; publ. 01.25.2011, Bull. № 2.

8. Patent of Ukraine No. 75254 Lokomotiv / L. Gubacheva, A. Andreev, A. Pudova; patent holder East Ukrainian National University. VI. Dahl. - № u201205868; declare 14.05.2012; publ. 11/26/2012, Bull. № 22.

9. Patent of Ukraine No. 48664 Elastic gasket for lining / Golubenko A.L., Gubacheva L.A., Andreev A.A., Balatsky V.O. ; patent holder East Ukrainian National University. VI. Dahl. - № u200910843; declare 10.27.2009; publ. 25.03.2010, Bull. №6.

10. Patent of Ukraine No. 72269 Elastic pads for lining rail fasteners / Gubacheva LA, Andreev AA, Miroshnichenko RA; patent holder East Ukrainian National University. VI. Dahl. - № u201201602; declare 14.02.2012; publ. 10.08.2012, Bull. №15.

11. Applied mechanics: [For technical colleges in the courses "Resistance of Materials", "Theory of Mechanisms and Machines", "Machine Parts"] / G. B. Iosilevich, P. A. Lebedev, V. S. Strelyaev. - Moscow: Mechanical Engineering, 1985. - 575 p.

12. Handbook of resistance materials / G. S. Pisarenko, A. P. Yakovlev, V. V. Matveev. - 2nd ed., Pererab. and add. - Kiev: Naukova Dumka, 1988. - 734 p.

Gubacheva L.A., Andreev A.A., Lotarev I.S.

INVESTIGATION AND ORGANIZATION OF NO-FAILURE OPERATION OF REPAIR-WRECKING TRAIN

The organization of the repair and recovery train on the railway in emergency situations related to the removal of old and installation of new sections of rails, the restoration of the bulk prism and the replacement of interchangeable wooden sleepers on fastening with reinforced concrete sleepers.

Key words: railway track, track superstructure, state of emergency, technology of track operation, rails, sleepers, mechanisms.

Губачева Лариса Александровна, д.т.н., проф., зав кафедрой «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: gubacheva_snu@bk.ru

Gubacheva Larisa Aleksandrovna, doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial and Urban Transport. State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: gubacheva_snu@bk.ru

Андреев Александр Александрович - к.т.н., доц., кафедры «Промышленный и городской транспорт». ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Andreev Aleksandr Aleksandrovich Ph.D., Associate Professor, Department of Industrial and Urban Transport. State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Лотарев Илья Сергеевич, магистрант кафедры «Промышленный и городской транспорт». ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Lotarev Iliia Sergeevich, master student of the department "Industrial and urban transport". State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: ararat123ilia@mail.ru

Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 23.04.2019

УДК 656.21.001.2

О КАЧЕНИИ КОЛЕС НА СКОРОСТНЫХ УЧАСТКАХ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Джабборов Ш.Б.

ON WHEEL ROLLING AT HIGH-SPEED SITES OF SORTING SLIDES

Djabborov Sh.B.

В статье приведены результаты решение инженерной задачи качения колёс вагона применением принципа Даламбера для инерциальной системы отсчёта, где, не прибегая к составлению уравнения движения колеса, непосредственно записаны уравнения равновесия сил, приложенных к колесу, и сил инерции Даламбера. Примером расчета показано отсутствие возможности качение колеса с одновременным скольжением.

Ключевые слова: Железная дорога, станция, сортировочная горка, вагон, принцип Даламбера, качение колес вагона без скольжения.

Введение. Как известно [1 – 8], существующие методы горочных расчетов сортировочных горок [9 – 16] содержат ряд эмпирических формул, где, по мнению авторов статьи [1 – 8], не только не соблюдена теория размерностей, но допущены ряд неточностей, связанных с применением идеальных и неидеальных связей в механике [17 – 20]. Помимо того, скорость скатывания вагона по уклону горки определяется по формуле скорости свободного падения тело [21, 22], применимой только для идеальной связи (т.е. при пренебрежении силами трения). При этом скорость движения вагона находят с учетом инерции вращающихся масс даже в зоне затормаживания на участках тормозных позиций сортировочной горки (также см. формулу (4) в [22]). Как видно, очевидность актуальности темы горочных расчетов сортировочной горки не вызывает сомнений.

Цель настоящей статьи. Требуется решить задачу качения колёс вагона по рельсовым нитям применением принципа Даламбера [17 – 20].

Формулировка задачи. Примером расчета показать отсутствие возможности качение колеса с одновременным скольжением.

Решение инженерной задачи. Покажем составление уравнения равновесия сил, включая силу инерции Даламбера в проекциях на оси координат для инерциальной системы отсчёта. При этом за полюс примем точку C . Будем учитывать возможную местную деформацию колес колёсных пар вагона и поверхности катания рельсовых нитей.

В этом случае, контактирования колеса и рельса происходит не в одной точке P , а по несоизмеримо малой дуге PA (см. стр. 158 [23]) (рис. 1).

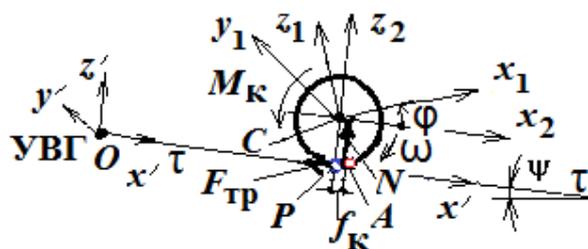


Рис. 1. Схема качения колёсных пар со скольжением относительно рельсовых нитей с учётом момента трения качения

На рис. 1 обозначено: $Ox'y'z'$ – неподвижные системы координат, начало координат которого расположено на условной вершине горки (УВГ); C – центр масс колёсных пар; $Cx_1y_1z_1$ – система подвижных осей, неизменно связанных с центром C движущейся колёсной пары; $Cx_2y_2z_2$ – система подвижных осей, неизменно направления движущихся вместе с колёсной парой поступательно; P – точка соприкосновения колеса с рельсом, совпадающим с МЦС P_v (см. стр. 227 и 242 [19]), где скорость $v_{P_v} = 0$; ϕ – угол между осями Cx_2 и Cx_1 , характеризующий положение движущейся колёсной пары относительно подвижных осей $Cx_2y_2z_2$, т.е. её относительное движение, показывающее вращение колёсной пары вокруг оси Cy_1 с угловой скоростью $\omega = \dot{\phi}(t) \neq 0$; τ – общая касательная к траектории колеса, как окружности, и рельса; ψ – угол наклона профиля пути; A и P – точки приложения нормальной N и касательной $F_{тр}$ составляющей реакции связей (рельсовых нитей) R (помимо того, P – это точка касания и/или соприкосновения колёсной пары с рельсом); M_k – момент трения при качении; f_k – коэффициент сопротивления качению и/или трения качения колёсных пар о рельсовые нити (обычно для

стальных колес и стальных рельс $f_k = 0,005 \cdot 10^{-3}$ м (см. стр. 71 в [20]).

Считаем, что колеса колёсных пар вагона совершают плоское движение, и центр масс C колеса движется со скоростью:

$$v_C = a_C t, \quad (1)$$

где a_C – *отыскиваемый кинематический параметр* постоянной величины (и/или линейное ускорение вагона);

t – время движение вагона (*вычисляемый параметр*).

В число уравнения сил добавим силу инерции J_C центра масс C колеса. Тогда, согласно методу приведения сил к заданной точке (метод Пуансо) [17], силу инерции колеса J_C при абсолютном его движении можно приводить к силе, равной главному вектору $\overline{J_C}$, и паре сил, момент которой равен главному моменту сил инерции $m_C(J_C)$ [17 – 20].

Общеизвестно [17, 19], что сила инерции $\overline{J_C}$ приложена в центре масс C колеса и равна

$$\overline{J_C} = -M\overline{a_C}, \quad (2)$$

где M – масса колес колёсных пар вагона;

a_C – линейное ускорение центра масс C колеса.

Главный момент сил инерции колёсной пары:

$$m_C(J_C) = -J_C \varepsilon, \quad (3)$$

где $J_C = Mr^2/2 = Gr^2/2g$ – момент инерции колес одной колёсной пары относительно центра инерции C ;

$\varepsilon = \ddot{\phi} = a_C / r$ – угловое ускорение колеса.

Согласно принципу Даламбера [17 – 20], составим уравнения равновесия сил, включая силу инерции Даламбера в проекциях на оси координат:

$$\left. \begin{aligned} Ma_{Cx} &= \sum_{k=1}^n F_{kx}^e; \\ Ma_{Cz} &= \sum_{k=1}^n F_{kz}^e; \\ n_k \frac{Mr}{2} a_C &= -n_k M_{\text{тр.к}} + F_{\text{тр}} r. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

или, с учётом формулы (2) и (3) после упрощений

$$\left. \begin{aligned} Ma_C &= F_x - F_c; \\ N &= F_z; \\ n_k J_C \ddot{\phi} &= -n_k M_{\text{тр.к}} + F_{\text{тр}} r. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Здесь обозначено: $F_x = G_x$ – проекции силы тяжести вагона G на ось Cx , действующая на одно колесо колёсной пары вагона;

$F_c = F_{\text{тр}}$ – сила трения скольжения, приложенная к точке P колеса, скорость v_P которая равна нулю ($v_P = 0$). Причём, здесь, согласно закону Кулона [19, 20], $F_{\text{тр}} \leq fG$;

$F_z = G \cos \psi$ – проекции силы тяжести вагона G на ось Cz .

Отсюда, записав $a_C = \ddot{x}_C$, получим:

$$\left. \begin{aligned} M\ddot{x}_C &= F_x - F_c; \\ N &= F_z; \\ n_k J_C \ddot{\phi} &= -n_k M_{\text{тр.к}} + F_{\text{тр}} r. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Учитывая, пояснения к системе (5), перепишем последнюю систему:

$$\left. \begin{aligned} M\ddot{x}_C &= G \sin \psi - F_{\text{тр}}; \\ N &= G \cos \psi; \\ n_k J_C \ddot{\phi} &= -n_k M_{\text{тр.к}} + F_{\text{тр}} r. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Особо отметим, что первое и третье уравнение системы (7) могут быть использованы для решения частной инженерной задачи. Так, например, первое уравнение системы (7) – для решения задачи скатывания вагона по спускной части горки, а третье – для доказательства возможности чистого качения колеса по рельсам [6].

Как видно, преимуществом принципа Даламбера является то, что, не прибегая к составлению уравнения движения колеса, непосредственно можно записать уравнения равновесия сил, приложенных к колесу, и сил инерции Даламбера.

Пример расчёта. Для примера исследуем движение вагона на участке третьей (С3) стрелочной зоне (С3) спускной части горки. Исходные данные примера расчёта: $G = 908$ – сила тяжести вагона с грузом, кН; $f = 0,175$ – коэффициент трения скольжения металла по металлу (согласно стр. 65 в [20]: $f = 0,15 \dots 0,25$); $f_k = 0,001$ – коэффициент трения качения закаленной стали по закаленной стали (см. стр. 42 в [29]); $r = 0,475$ – радиус по кругу катания колёс, м [25]; $n_k = 8$ – количество колёс колёсной пары вагона, шт; $\psi_{6с3} = 0,002$ – угол уклона С3 горки, рад.; $l_{6с3} = 24,0$ – длина участка С3 горки, м, время движения вагона на исследуемом участке горки: $t_{6с3} = 7,934$ с.

Результаты расчёта [26]. Для примера проверим возможности качения колеса с одновременным скольжением по формулам для определения:

– углового ускорения центра инерции C колёса $\ddot{\phi} = \varepsilon$, рад/с²:

$$\varepsilon = \frac{2(r - n_k f_k)}{n_k r^2} g f \cos \psi. \quad (8)$$

– линейного ускорения центра инерции C колеса, м/с², и его угловой скорости, рад/с:

$$\dot{x}_C = a_C \cdot t \text{ и } \dot{\phi} = \omega = \varepsilon \cdot t. \quad (9)$$

– скорости скольжения точки соприкосновения P колеса с рельсом, м/с, как разность \dot{x}_C и

$$\dot{\phi} r :$$

$$v_x = \dot{x}_C - \dot{\phi} r = \dot{x}_C - v_{rC} \quad (10)$$

где

$$v_{rC} = \dot{\phi} r = \omega r. \quad (11)$$

Согласно формуле (8), угловое ускорение колеса, рад/с²:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{6c3} &= \frac{2(r - n_k f_k)}{n_k r^2} g f \cos \psi \\ &= \frac{2(0.475 - 8 \cdot 0.001)}{8 \cdot 0.475^2} 9.81 \cdot 0.175 \cdot 1 = 0,888. \end{aligned}$$

Подсчитаем скорость скольжения колеса по рельсу по первой формуле (9) с учётом того, что $a_{6c3} = |1,7|$, м/с:

$$v_{6c3} = a_{6c3} \cdot t_{6c3} = -1,7 \cdot 7,934 = -13,46.$$

Согласно второй формуле (9), угловая скорость колеса, рад/с:

$$\dot{\phi} = \omega_{6c3} = \varepsilon_{6c3} \cdot t = 0,888 \cdot 7,934 \approx 7,05.$$

Вычислим скорость центра масс C колеса по формуле (11), м/с:

$$v_{6c3} = \omega_{6c3} \cdot r = 7,05 \cdot 0,475 \approx 3,35.$$

Произведем скорость скольжения $v_x = v_{xP}$ точки соприкосновения P колеса с рельсом по формуле (10), м/с:

$$v_x = \dot{x}_C - v_{rC} = -13,464 - 3,35 \approx -16,8.$$

Анализируя результаты вычисления скорости скольжения $v_x = v_{xP}$ точки соприкосновения P колеса с рельсом (см. рис. 1), убеждаемся, что знак скорости получился отрицательным, *означающий отсутствие возможности качения колеса с одновременным скольжением.*

Выводы. 1. Приведены математическое описание решение задачи качения колёс вагона с применением принципа Даламбера для инерциальной системы отсчёта, где, не прибегая к составлению уравнения движения колеса, непосредственно записаны уравнения равновесия сил, приложенных к колесу, и сил инерции Даламбера.

2. Данными расчетов показано отсутствие возможности качение колеса с одновременным скольжением.

Л и т е р а т у р а

1. Туранов Х.Т. Некоторые проблемы теоретических предпосылок динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации, 2015, № 3 (237). – С. 29 - 36. ISSN 2072-8115.

2. Туранов Х.Т. О попытке доказательства нового подхода к исследованию движения вагона по спускной части сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации, 2016, № 10 (256). – С. 19 - 24. ISSN 2072-8115.

3. Туранов Х. Т. Математическое описание движения вагона на участках тормозных позиций сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Транспорт Урала. 2018. № 2 (57). С. 3–8. DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-3-8. ISSN 1815-9400.

4. Туранов Х.Т. Выбор рационального режима роспуска «очень плохого бегуна» с сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, О.В. Молчанова // Транспорт: наука, техника, управление. 2018, № 7. С. 9 - 13. ISSN 0236-1914.

5. Туранов Х.Т. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (Часть I) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации, 2018, №9 (279). С. 23-28. ISSN 2072-8115.

6. Туранов Х.Т. К критическому анализу теоретических положений движения вагона с сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джабборов // Транспорт: наука, техника, управление. 2018, № 11. С. 26 - 31. ISSN 0236-1914.

7. Туранов Х.Т. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (часть II) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. 2018. №12 (282). С. 12-18. ISSN 2072-8115.

8. Khabibulla Turanov, and Andrey Gordienko. Movement of a railway car rolling down a classification hump with a tailwind // MATEC Web of Conferences 216, 02027 (2018) Politransport Systems – 2018. 1-7 p.

9. Образцов В.Н. Станции и узлы. ч. II / В.Н. Образцов. – М.: Трансжелдориздат, 1938. 492 с.

10. Земблинов С.В. Станции и узлы / С.В. Земблинов, И.И. Страковский. – М.: Трансжелдориздат, 1963. 348 с.

11. Савченко И.Е. Железнодорожные станции и узлы: учеб. для вузов ж. – д. трансп. / И.Е. Савченко, С.В. Земблинов, И.И. Страковский; Под ред. В.М. Акулиничева, Н.Н. Шабалина – М.: Транспорт, 1980. 479 с.

12. Акулиничев В.М. Расчёт и проектирование сортировочных горок большой и средней мощности: учебн. пособ. для вузов ж. – д. трансп. / В.М. Акулиничев, Л.П. Колодий. – М.: МИИТ, 1981. 61с.

13. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1 520 мм. – М.: ТЕХИНФОРМ, 2003. – 168 с.
14. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчёты): Учебное пособие для вузов ж. – д. трансп. / Н.В. Правдин, В.Г. Шубко, Е.В. Архангельский и др.; Под ред. Н.В. Правдина и В.Г. Шубко. – М.: Маршрут, 2005. 502 с.
15. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы): учебник / Н.В. Правдин, С.П. Вакуленко, А.К. Голович и др.; под ред. Н.В. Правдина и С.П. Вакуленко. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. 1086 с.
16. Железнодорожные станции и узлы: учебник / В.И. Апатцев и др.; под ред. В.И. Апатцева и Ю.И. Ефименко. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. 855 с.
17. Воронков И.М. Основной курс теоретической механики / И.М. Воронков. – М.: ГИТТЛ, 1957. 596 с.
18. Лойцянский Л.Г. Курс теоретической механики. В 2-х томах. Т.II. Динамика / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. – М.: Наука, 1983. 640 с.
19. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Учебн. для тех. вузов // А.А. Яблонский, В.М. Никифорова. – СПб.: Изд-во «Лань», 1998. 768 с.
20. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник для втузов. – М.: Высш. шк., 1998. 416 с.
21. Рудановский В.М. О попытке критики теоретических положений динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / В.М. Рудановский, И.П. Старшов, В.А. Кобзев // Бюллетень транспортной информации. 2016. № 6 (252). – С. 19-28. ISSN 2072-8115.
22. Позойский Ю.О. К вопросу движения вагона по уклону железнодорожного пути / Ю.О. Позойский, В.А. Кобзев, И.П. Старшов, В.М. Рудановский // Бюллетень транспортной информации. 2018. № 2 (272). – С. 35-38. ISSN 2072-8115.
23. Туранов Х.Т. Теоретическая механика в специальных задачах грузовых перевозок: учебное пособие / Х.Т. Туранов. – Новосибирск: Наука; Екатеринбург, Изд-во УрГУПС, 2012. 447 с.
24. Иванов П.С. Кинетика усталостного разрушения рельсовых плетей железнодорожного пути по дефектам в подошве рельса / П.С. Иванов. – Нижний Новгород: ДЦНТИ ГЖД, 2009. 74 с.
25. Расчёты и проектирование железнодорожного пути: Учебник для студентов вузов ж.д. трансп. / В.В. Виноградов, А.М. Никонов, Т.Г. Яковлева и др.; Под ред. В.В. Виноградова и А.М. Никонова. – М.: Маршрут, 2003 486 с.
26. МАКАРОВ Е.Г. МАТНСАД: УЧЕБНЫЙ КУРС (+CD). – СПб.: ПИТЕР, 2009. 384 С.
- References**
1. Turanov H.T. Nekotorye problemy teoreticheskikh predposyllok dinamiki skatyvaniya vagona po uklonu sortirovochnoj gorki / H.T. Turanov, A.A. Gordienko // Byulleten' transportnoj informacii, 2015, № 3 (237). - S. 29 - 36. ISSN 2072-8115.
 2. Turanov H.T. O popytke dokazatel'stva novogo podhoda k issledovaniyu dvizheniya vagona po spusknoj chasti sortirovochnoj gorki / H.T. Turanov, A.A. Gordienko // Byulleten' transportnoj informacii, 2016, № 10 (256). - S. 19 - 24. ISSN 2072-8115.
 3. Turanov H. T. Matematicheskoe opisanie dvizheniya vagona na uchastkah tormoznykh pozicij sortirovochnoj gorki / H.T. Turanov, A.A. Gordienko // Transport Urala. 2018. № 2 (57). S. 3–8. DOI: 10.20291/1815-9400-2018-2-3-8. ISSN 1815-9400.
 4. Turanov H.T. Vybora racional'nogo rezhima rospuska «ochen' plohogo beguna» s sortirovochnoj gorki / H.T. Turanov, A.A. Gordienko, O.V. Molchanova // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2018, № 7. S. 9 - 13. ISSN 0236-1914.
 5. Turanov H.T. Kriticheskij analiz teoreticheskikh polozhenij dvizheniya vagona s sortirovochnoj gorki (Chast' I) / H.T. Turanov, A.A. Gordienko // Byulleten' transportnoj informacii, 2018, №9 (279). S. 23-28. ISSN 2072-8115.
 6. Turanov H.T. K kriticheskomu analizu teoreticheskikh polozhenij dvizheniya vagona s sortirovochnoj gorki / H.T. Turanov, A.A. Gordienko, Sh.B. Dzhabborov // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2018, № 11. S. 26 - 31. ISSN 0236-1914.
 7. Turanov H.T. Kriticheskij analiz teoreticheskikh polozhenij dvizheniya vagona s sortirovochnoj gorki (chast' II) / H.T. Turanov, A.A. Gordienko // Byulleten' transportnoj informacii. 2018. №12 (282). S. 12-18. ISSN 2072-8115.
 8. Khabibulla Turanov, and Andrey Gordienko. Movement of a railway car rolling down a classification hump with a tailwind // MATEC Web of Conferences 216, 02027 (2018) Politransport Systems – 2018. 1-7 p.
 9. Obrazcov V.N. Stancii i uzly. ch. II / V.N. Obrazcov. – М.: Transzheldorizdat, 1938. 492 s.
 10. Zemblinov S.V. Stancii i uzly / S.V. Zemblinov, I.I. Strakovskij. – М.: Transzheldorizdat, 1963. 348 s.
 11. Savchenko I.E. Zheleznodorozhnye stancii i uzly: ucheb. dlya vuzov zh. – d. трансп. / I.E. Savchenko, S.V. Zemblinov, I.I. Strakovskij; Pod red. V.M. Akulinicheva, N.N. Shabalina – М.: Transport, 1980. 479 s.
 12. Akulinichev V.M. Raschyot i proektirovanie sortirovochnykh gorok bol'shoj i srednej moshchnosti: uchebn. posob. dlya vuzov zh. – d. трансп. / V.M. Akulinichev, L.P. Kolodij. – М.: МИИТ, 1981. 61s.
 13. Pravila i normy proektirovaniya sortirovochnykh ustrojstv na zheleznyh dorogah kolei 1 520 mm. – М.: TEHINFORM, 2003. – 168 s.
 14. Zheleznodorozhnye stancii i uzly (zadachi, primery, raschyoty): Uchebnoe posobie dlya vuzov zh. – d. трансп. / N.V. Pravdin, V.G. Shubko, E.V. Arhangel'skij i dr.; Pod red. N.V. Pravdina i V.G. Shubko. – М.: Маршрут, 2005. 502 с.
 15. Proektirovanie infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta (stancii, zheleznodorozhnye i transportnye uzly): uchebnik / N.V. Pravdin, S.P. Vakulenko, A.K. Golovich i dr.; pod red. N.V. Pravdina i S.P. Vakulenko. – М.: FGBOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte», 2012. 1086 s.
 16. Zheleznodorozhnye stancii i uzly: uchebnik / V.I. Apatcev i dr.; pod red. V.I. Apatceva i Yu.I. Efimenko. – М.: FGBOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte», 2014. 855 s.
 17. Voronkov I.M. Osnovnoj kurs teoreticheskij mekhaniki / I.M. Voronkov. – М.: GITTL, 1957. 596 s.
 18. Lojcyanskij L.G. Kurs teoreticheskij mekhaniki. V 2-h tomah. T.II. Dinamika / L.G. Lojcyanskij, A.I. Lur'e. – М.: Nauka, 1983. 640 s.
 19. Yablonskij A.A. Kurs teoreticheskij mekhaniki. Uchebn. dlya tekhn. vuzov / A.A. Yablonskij, V.M. Nikiforova. – СПб.: Изд-во «Лань», 1998. 768 s.
 20. Targ S.M. Kраткий курс теоретической механики: учебник для втузов. - М.: Vyssh. shk., 1998. 416 s.
 21. Rudanovskij V.M. O popytke kritiki teoreticheskikh polozhenij dinamiki skatyvaniya vagona po uklonu sortirovochnoj gorki / V.M. Rudanovskij, I.P. Starshov, V.A.

Kobzev // Byulleten' transportnoj informacii. 2016. № 6 (252). - S. 19-28. ISSN 2072-8115.

22. Pozojksij Yu.O. K voprosu dvizheniya vagona po uklonu zheleznodorozhnogo puti / Yu.O. Pozojksij, V.A. Kobzev, I.P. Starshov, V.M. Rudanovskij // Byulleten' transportnoj informacii. 2018. № 2 (272). - S. 35-38. ISSN 2072-8115.

23. Turanov H.T. Teoreticheskaya mekhanika v special'nyh zadachah gruzovyh perevozok: uchebnoe posobie / H.T. Turanov. – Novosibirsk: Nauka; Ekaterinburg, Izd-vo UrGUPS, 2012. 447 s.

24. Ivanov P.S. Kinetika ustalostnogo razrusheniya rel'sovyh pletej zheleznodorozhnogo puti po defektam v podoshve rel'sa / P.S. Ivanov. – Nizhnij Novgorod: DCNTI GZhD, 2009. 74 s.

25. Raschyoty i proektirovanie zheleznodorozhnogo puti: Uchebnik dlya studentov vuzov zh.d. transp. / V.V. Vinogradov, A.M. Nikonov, T.G. Yakovleva i dr.; Pod red. V.V. Vinogradova i A.M. Nikonova. – M.: Marshrut, 2003 486 s.

26. Makarov E.G. Mathcad: Uchebnyj kurs (+CD). - SPb.: Piter, 2009. 384 s.

Djabborov Sh. B.

ON WHEEL ROLLING AT HIGH-SPEED SITES OF SORTING SLIDES

The article presents the results of solving the engineering problem of rolling the car wheels using the d'Alembert principle for the inertial reference system, where, without resorting to the equation of the wheel motion, the balance equations of forces applied to the wheel and d'Alembert inertia forces are written directly. An example of the calculation shows the impossibility of wheel rolling with simultaneous sliding.

Key words: Railway, station, slide, wagon, D'Alembert principle, rolling of the wheels of the car without sliding.

Джабборов Шухрат Ботирович, ассистент кафедры «Вагоны» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ)

Djabborov Shukhrat Botirovich, assistant of the department "Cars" of the Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (TashIRTE)

Рецензент: Губачева Лариса Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 16.03.2019

УДК 621.436

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВОЛНОВОГО ОБМЕННИКА ДАВЛЕНИЙ

Доценко Д.М., Тырловой С.И., Карлов А.А.

IMPROVING THE DYNAMIC QUALITIES OF A TRANSPORT DIESEL ENGINE REGULATION OF THE WAVE PRESSURE EXCHANGER

Dotsenko D.M., Tyrlovoy S.I., Karlov A.A.

Предложена система адаптивного регулирования частоты вращения ротора ВОД транспортного дизеля с учетом температурных и высотных условий эксплуатации. Выполнен анализ динамики САР, получены оптимальные конструктивные параметры системы, позволяющие улучшить показатели, в том числе динамические, автотракторного дизеля с ВОД в широком диапазоне эксплуатационных режимов. Полученные данные позволяют определить основные показатели переходного процесса. Так, заброс частоты вращения ротора волнового обменника давления при любых возмущениях не превышает 5%, продолжительность переходного процесса изменения частоты вращения с 10000 мин⁻¹ до 11000 мин⁻¹ менее 5с. Разработанная САР обеспечивает адаптивное регулирование частоты вращения ротора ВОД в зависимости от режима работы ДВС и атмосферных условий, что повышает эксплуатационные показатели транспортного двигателя. Рис.4, Ист. 4.

Ключевые слова: волновой обменник давлений, адаптивная система автоматического регулирования, динамические качества транспортного дизеля.

Введение. Важное направление улучшения технико-экономических показателей ДВС связано с рациональным использованием энергии отработавших газов на эксплуатационных режимах работы транспортной установки. Одним из перспективных устройств в этом направлении является волновой обменник давлений (ВОД) [1]. Исследования показали, что достичь высоких показателей, в том числе динамических, поршневого двигателя автотракторного типа с ВОД невозможно без гибкого регулирования частоты вращения ротора [2]. Это, по нашему мнению, позволит существенно улучшить результаты логистических операций, особенно в условиях пересеченной местности.

В литературе отсутствуют конструктивные схемы таких систем автоматического регулирования (САР), учитывающие факторы, связанные с изменением длин волн в каналах ВОД, к которым

так же относятся климатические и высотные условия [3] эксплуатации двигателя.

С этой целью разработана адаптивная система автоматического регулирования частоты вращения ротора волнового обменника давлений транспортного дизеля (рис. 1). Система обеспечивает поддержание экспериментально определенной зависимости частоты вращения ротора от величины управляющего давления газов перед обменником Р_д с учетом параметров атмосферного воздуха Р_о и Т_о.

Данная система является разновидностью адаптивных - самонастраивающейся с переменной уставкой. В данной САР уставкой является деформация пружины 3 центробежного измерителя с грузами 2. Первоначальная настройка системы осуществляется винтами 4, 6 и выбором длины штока сервомотора 11, управляющим регулирующим органом - клапаном 9.

Требуемый скоростной режим ротора задается положением суммирующего рычага DF. Положение рычага определяется координатами наконечников штоков мембранных камер 5 и 7, то есть оптимальное значение частоты вращения ротора (n_р) формируется текущими значениями Р_д и атмосферными условиями (Р_о и Т_о).

Система работает следующим образом. При падении, например, давления масла Р_{мо}, частота вращения ротора n_р уменьшается. Вследствие этого нарушается баланс центробежных сил грузов 2, приведенных к муфте измерителя и усилия пружины 3. В результате точка А рычага ABC обратной связи получит перемещение Z (см. рис.1). В начальный момент точка С рычага обратной связи неподвижна, поскольку силовой поршень с обеих сторон заперт маслом, находящимся в полостях. Поэтому точка «В» штока золотника получит

перемещение $X_3 = \frac{b}{a+b} \cdot Z$ в ту же сторону, что и Z.

При этом движении золотник откроет окно питания

(вверху) и окно слива (внизу) и поршень сервомотора переместится вниз на величину $Y = \frac{b}{a+b} \cdot X_3$, вследствие чего увеличивается проходное сечение клапана 9 и повышается давление P_m перед колесом масляного гидромотора, что приведет к возрастанию частоты вращения n_p до заданного уровня с ошибкой регулирования $-b$, определяемой отношением b/a и местной степенью неравномерности b_p центробежного измерителя. Золотник при этом из-за воздействия рычага обратной связи перекроет окна сервомотора и процесс регулирования закончится.

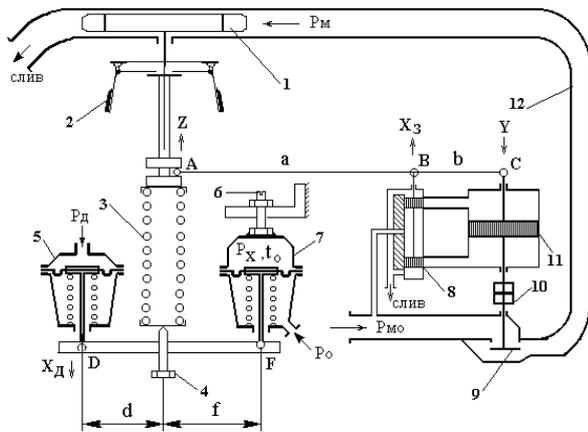


Рис. 1 Адаптивная система автоматического регулирования частоты вращения ротора волнового обменника давлений транспортного дизеля
 1-ротор гидромотора привода ВОД; 2-грузы измерителя; 3- главная пружина измерителя; 4-винт адаптивного задатчика; 5-датчик давления; 6-винт настройки; 7-датчик атмосферных условий; 8-гидравлический сервомотор; 9-клапан; 10-узел настройки длины штока сервомотора; 11-силовой поршень; 12-трубка для подачи регулируемого давления масла к ротору гидромотора

Аналогичным образом значение n_p будет стабилизироваться при загрязнении сопел масляной турбины, клапана 9 и в результате других возмущений. При случайном увеличении P_{mo} система отработает в обратном порядке, уменьшив проходное сечение клапана 9 и P_m , что вновь восстановит заданное значение n_p с ошибкой регулирования $+b$.

В случае изменения управляющего воздействия P_d система должна отреагировать изменением n_p в соответствии с экспериментальной зависимостью, полученной на кафедре ДВС Восточноукраинского национального университета (рис. 2) для дизеля 4Ч9,5/11 с волновым обменником давлений.

Здесь система работает следующим образом. При уменьшении P_d нарушается баланс сил на суммирующем рычаге DF и точка D перемещается вверх на величину X_d . При жесткости пружин мембранных блоков 5 и 7 существенно превышающих жесткость пружины измерителя 3,

точку F рычага DF можно считать неподвижной. Тогда деформация пружины 3 уменьшится на величину $Y_n = \frac{f}{d+f} X_d$. При сопоставимых жесткостях пружин необходимо учитывать перемещение точки F согласно данным работы [4.], в этом случае $Y_n = \frac{f \cdot X_d - d \cdot X_F}{d+f}$. Центробежные силы грузов, приведенные к муфте измерителя, станут меньше нового значения усилия пружины, и винт 4 переместится вверх в соответствии с характеристикой настройки измерителя. Далее процесс регулирования пойдет согласно приведенному выше описанию и закончится установлением возросшей до нового заданного значения частоты вращения ротора, в соответствии с рис.2, которая будет поддерживаться при любых возмущениях по P_{mo} с заданной ошибкой δ_p . При возрастании P_g система отреагирует аналогично, установив пониженное значение n_p , в соответствии с рис.2.

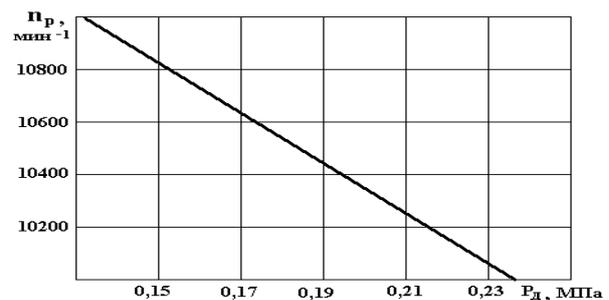


Рис. 2 Экспериментальные значения оптимальных частот вращения ротора ВОД в зависимости от величины управляющего давления P_d для дизеля 4Ч9,5/11

При изменении атмосферных условий частота n_p должна устанавливаться в соответствии со следующим. В случае колебаний температуры T_0 окружающей среды частота вращения ротора изменяется пропорционально скорости звука, то есть пропорционально $\sqrt{T_0}$. При изменении давления окружающей среды частота ротора должна изменяться по предварительным расчетам линейно, то есть $\Delta n = K \cdot \Delta P_0$. На рисунке 3 показан оптимальный закон изменения n_p в зависимости от температуры и давления окружающей среды. Перемещение штока мембранного блока 7 от атмосферных условий выражается зависимостью, выведенной в работе [4]:

$$X_f = (B + \sqrt{B^2 - 4AC}) / (2A), \tag{1}$$

где $A = b \cdot (C_1 + C_2 \cdot d / f)$,

$$B = b \cdot (P_0 \cdot F + C_1 / b + C_1 \cdot X_0 + C_2 \cdot f / (b \cdot d)),$$

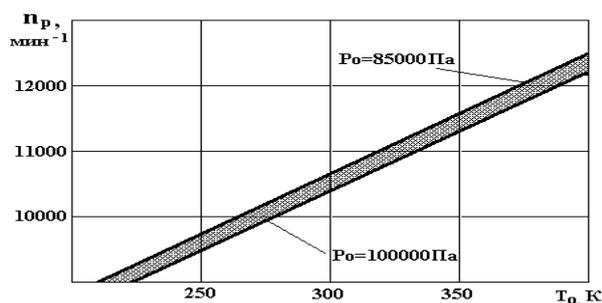


Рис. 3 Оптимальный закон изменения частоты вращения ротора волнового обменника давлений в зависимости от атмосферных условий.

$$C = P_H \cdot F \cdot T_0 / T_H - P_0 \cdot F - C_1 \cdot X_0,$$

F - площадь защемленного сечения мембраны; C_1 - жесткость пружины блока 7; C_2 - жесткость пружины блока 5; a - коэффициент пропорциональности изменения объема V замкнутой полости измерителя в зависимости от перемещения штока X_f ; P_H , T_H и X_0 - давление, температура в объеме замкнутой полости измерителя и начальная деформация пружины блока 7 при нормальных атмосферных условиях.

Закон перемещения X_f зависит также от конструктивных параметров блока 7. Связь X_f и n_p устанавливается характеристикой настройки центробежного измерителя 2. Выполнив серию расчетов $X_f = X_f(T_0, P_0)$ при различных конструктивных параметрах блока 7, и вычислив среднюю квадратичную ошибку δ отклонения заданного $X_{ОПТ}$ от действительного X_f в N точках

$$\text{по формуле } \delta = \frac{N \sum_{i=1}^N (X_{f(i)} - X_{ОПТ(i)})^2}{X_{ОПТ(i)}^2} \text{ можно}$$

минимизировать названную ошибку отклонения действительных перемещений штока от расчетных. Таки образом представляется возможность определить такие конструктивные параметры блока 7, при которых действительный закон изменения X_f от атмосферных условий будет минимально отличаться от заданного или оптимального.

Для выбора параметров САР необходимо знать параметры чувствительного элемента и мембранных блоков 5 и 7. В данной системе применен центробежный чувствительный элемента регулятора Р11М, который имеет следующие параметры: постоянная времени измерителя $T_i = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2$; постоянная времени, пропорциональная вязкостному трению $T_k = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; местная степень неравномерности $\delta_p = 0,2$.

Уравнение ротора получено на основании экспериментальной зависимости $M_p = M_p(P_m, n_p)$ и $M_c = M_c(n_p)$, в этом случае:

$$J_p \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_p - M_c. \quad (2)$$

Давление масла определено из уравнения неразрывности потока масла:

$$\mu_k \cdot f_k \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P_{m0} - P_m)} = \frac{n_p \cdot n_l \cdot V_l \cdot \eta_{нал}}{60}, \quad (3)$$

где μ_k и f_k - коэффициент расхода и проходное сечение регулирующего клапана 9 (см. рис. 1), ρ - плотность масла.

После преобразований

$$P_m = P_{m0} - \frac{\rho \cdot n_p \cdot n_l \cdot V_l \cdot \eta_{нал}}{120 \cdot (\mu_k \cdot f_k)^2}, \quad (4)$$

где $f_k = \pi \cdot d_k \cdot Y_k$, d_k и Y_k - диаметр тарелки и перемещение клапана 9.

Воздействие мембранных блоков 5 и 7 на датчик через суммирующий рычаг определены из уравнений статического равновесия:

$$P_g \cdot F_g + C_3 \cdot (Z - Z_0) + P_x \cdot F_x = C_g \cdot (X_g - X_{g0}) \cdot C_x \cdot (X - X_0); \quad (5)$$

$$[P_g \cdot F_g - C_g \cdot (X_{g\max} - X_{g0})] \cdot (d + f) = C_3 \cdot (Z - Z_0) \cdot f, \quad (6)$$

где C_3 - жесткость пружины измерителя.

После линеаризации объекта регулирования и регулятора с использованием относительных переменных математическая модель динамики системы автоматического регулирования имеет вид:

$$T_r \cdot \frac{d\eta^2}{dt^2} + T_k \frac{d\eta}{dt} + \delta_p \cdot \eta = -\varphi + \theta_p \quad \text{уравнение}$$

динамики измерителя,

где θ_p - относительная настройка чувствительного элемента, ее значение формируется уравнениями статического равновесия; η - относительное перемещение (Z) муфты измерителя (точки А - см. рис. 1); φ - относительная угловая скорость ротора;

$$T_c \frac{d\mu}{dt} + k_c \cdot \mu = \eta \quad \text{уравнение динамики}$$

сервомотора,

где k_c - коэффициент кинематической обратной связи сервомотора (см. рис.1 - рычаг АВС); μ - относительное перемещение штока сервомотора (клапана 9 на рис.1);

В результате анализа динамики САР выбраны оптимальные параметры системы автоматического регулирования. Переходные процессы системы в этом случае являются сходящимися, время регулирования - приемлемо для транспортной установки и существенно меньше по сравнению с

продолжительностью переходных процессов дизелей с ГТН. На рис 4,5 показаны некоторые результаты моделирования на ЭВМ переходного процесса САР частоты вращения ВОД при изменении управляющего давления Рд.

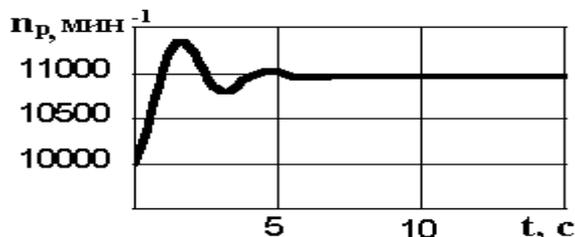


Рис. 4. Изменение частоты вращения ротора волнового обменника при мгновенном увеличении управляющего воздействия на 100% (наброс нагрузки на двигатель)

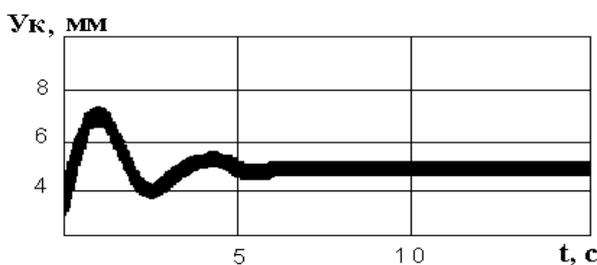


Рис. 5. Изменение положения регулирующего органа – клапана 9 - при мгновенном увеличении управляющего воздействия на 100%.

Выводы. Полученные данные позволяют определить основные показатели переходного процесса. Так, заброс частоты вращения ротора волнового обменника давления при любых возмущениях не превышает 5%, продолжительность переходного процесса изменения частоты вращения с 10000 мин⁻¹ до 11000 мин⁻¹ менее 5с. Лучшая стабилизация может быть достигнута применением катаракта, что, однако, усложняет систему. Компромиссным решением является увеличение местной степени неравномерности до 0,3-0,4, что при несколько более высокой погрешности поддержания частоты вращения ротора позволит сократить время переходного процесса в 2 раза и получить во многих случаях вместо колебательного переходного процесса - аperiodический.

В результате проведенного исследования представляется возможным заключить, что при должном выборе конструктивных параметров системы регулирования разработанная САР обеспечивает адаптивное регулирование частоты вращения ротора ВОД, что повышает эксплуатационные показатели транспортного двигателя.

Л и т е р а т у р а

1. Крайнюк А.И., Сторчеус Ю.В. Системы газодинамического наддува. Монография.-Луганск: Изд-во Восточноукр. гос. ун-та, 2000.-224 с.

2. Крайнюк А.И., Сторчеус Ю.В., Левчук В.П. Пути совершенствования систем воздухообеспечения дизельных двигателей. //Вестник Восточноукраинского государственного университета.-Луганск: Изд-во ВГУ.-1996.-№1.- С.143-147.

3. Тырловой С.И. Математическая модель регулятора пусковой подачи топлива транспортного дизеля. Вістник СНУ.–2000, частина друга, №9(31) – С. 188-192.

4. Крутов В.И. Автоматическое регулирование ДВС.

References

1. Krajnjuk A.I., Starcheus Ju.V. Sistemy gazodinamicheskogo nadduva. Monografija.-Lugansk: Izd-vo Vostochnoukr. gos. un-ta, 2000.-224 s.

2. Krajnjuk A.I., Starcheus Ju.V., Levchuk V.P. Puti sovsheinstvovaniya sistem vozduhosnabzheniya di-zel'nyh dvigatelej. //Vestnik Vostochnoukrainskogo gosudarstvennogo universiteta.-Lugansk: Izd-vo VUGU.-1996.-№1.- S.143-147.

3. Tyrlovoj S.I. Matematicheskaja model' regu-ljatora puskovoj podachi topliva transportnogo dizelja. Vistnik SNU.–2000, chastina druga, №9(31) –S188-192.

4. Krutov V.I. Avtomaticheskoe regulirovanie DVS.

Dotsenko D.M., Tyrlovoj S.I., Karlov A.A. IMPROVING THE DYNAMIC QUALITIES OF A TRANSPORT DIESEL ENGINE REGULATION OF THE WAVE PRESSURE EXCHANGER

A system of adaptive control of the rotational speed of the rotor of the WPE of a transport diesel engine with regard to temperature and altitude operating conditions is proposed. The analysis of the dynamics of the ACS, the optimal design parameters of the system, allowing to improve performance, including dynamic, autotractor diesel with WPE in a wide range of operating modes. The obtained data allows us to determine the main indicators of the transition process. Thus, the casting of the rotor frequency of the wave pressure exchanger for any disturbances does not exceed 5%, the duration of the transient process of changing the rotation frequency from 10,000 min⁻¹ to 11,000 min⁻¹ is less than 5 s. The developed ACS provides adaptive regulation of the rotational speed of the rotor of the WPE, depending on the operation mode of the internal combustion engine and atmospheric conditions, which improves the operational performance of the transport engine. Fig.4, East. 4.

Keywords: wave pressure exchanger, adaptive automatic control system, dynamic qualities of a transport diesel engine.

Доценко Данил Михайлович, ассистент кафедры "Двигатели внутреннего сгорания", ГОУ ВПО ЛНР "Луганский национальный университет имени Владимира Даля".

E-mail: danil-docenko@mail.ru

Dotsenko Danil Mikhailovich, a chair assistant of the "Internal combustion engines" State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: danil-docenko@mail.ru

Тырловой Сергей Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ

ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: tyrlovoy.si@mail.ru

Tyrlovoy Sergey Ivanovich, candidate of Sciences, a dosent of the Chair «Internal combustion engines», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: tyrlovoy.si@mail.ru

Карлов Александр Александрович, студент 4 курса, кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: karlov.a@mail.ru

Karlov Aleksandr Aleksandrovich, 4th year student, of the Chair « Internal combustion engines», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: karlov.a@mail.ru

Рецензент: Куликов Юрий Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 21.03.2019

УДК 658.51

THE BRANDED SERVICE SYSTEM AS A WAY TO IMPROVE THE COMPETITIVENESS OF THE AUTOMAKER

Żabiński K., Makarova I.V., Shubenkova K.A.

СИСТЕМА ФИРМЕННОГО СЕРВИСА КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ АВТОПРОИЗВОДИТЕЛЯ

Забински К., Макарова И.В., Шубенкова К.А.

The article discusses the ways of improving the effectiveness of the truck maintenance. The proposed methodology is aimed at improvement of the branded maintenance at the enterprises of the branded service network of the Public Corporation "KAMAZ". The possible options of the service network development when expanding the vehicles' fleet running on natural gas are considered.

Ключевые слова: System of branded automotive service; branded service network; vehicles running on natural gas

Introduction. The rapid development of techniques and technologies, as well as the globalization of economics and increased competitiveness has led to the shortening of launch period of new products. High-tech products are involved in product liability connected with keeping it in working capacity before end of its lifecycle. In the automotive industry this conception is implemented through creation of the system of branded automotive service. As a rule, the system includes the network of the branded service autocenters (BSA). Regardless of the status, such service centers operate according to standards of manufacturer. It is necessary to take into account two aspects. The first is the quality of the maintenance of automobile that should be kept in operational condition. The second is the quality of the process of providing services to the client – the owner of the vehicle. It is important because the competitiveness of the manufacturer and the brand trust depend on the efficiency of the service system.

So that the BSA could ensure the high-quality maintenance, it is necessary not only to provide the required amount of service stations, buy equipment, train personnel, but also to schedule the activity of the center according to type-age structure of the maintained fleet. It is necessary to estimate correctly the service performance indicators and the risks as well as to provide activities for risky situations prevention or reduction of their effects. The most widespread way to ensure availability is to create reserve capacities. They can be divided into two categories. The main ones are

formed based on the forecasting demand and that provide the rated capacity. The reserve ones help to hedge against mistakes in forecasts and against possible delays while operating the current orders.

The second direction of service efficiency increase is realization of the customer-oriented approach. Customers are waiting for the services that consider their needs. For this reason, operation of the service company has to be focused on the client's satisfaction. Ensuring of the customers' loyalty should be treated as a mandatory condition to achieve success of the company in competitive struggle [1].

One of the ways to increase competitiveness of both the whole service system and each of BSA is the processes' regulation in each of BSA by the manufacturer's feedback. Herewith the availability of the necessary information about the BSA allows the manufacturer to increase the quality of management and efficiency of the whole service system. Timely and full information helps to analyze the results of operation, compare them with the previous periods, and make recommendations for the further correction of the development strategy. The decision-support systems (DSS) are developed for these purposes. Such approach is especially actual in situations when resources are limited or in the case of launching new auto models to the market.

Simulation modeling as the way of intellectualization of strategic planning of branded service network development. At the time of market development, the automotive manufacturers create the system of branded automotive service abroad. As a rule, this is the branded service network (BSN) consisting of the service autocenters authorized according to standards of the manufacturer. In most cases, they organize their activities using principle of "three S": Sales – Service – Spare parts. In the case of the truck service this approach is the most actual because the proportion of freight motor transport in the total number of vehicle fleet is rather small. Furthermore, cost of the equipment as well as the labor intensity is higher for the

truck service, than for cars [2, 3]. Intellectualization of the large systems' management is carried out by creation of decision support systems (DSS), which have three main parts: 1) the module for collecting and storage of information received from internal and external sources; as a rule, this is the data warehouse; 2) the intelligent heart for data processing and analysis; 3) the user's interface, connecting and directing the information flows and allowing to choose data for the analysis and the parameters influencing on managerial decision. The conceptual scheme of DSS is shown in Fig. 1. The simulation models as a part of intelligent heart provide the search of the best decisions in different areas of activity of the whole service system and each of its subsystems.

During search of the best decision in each situation, the general data warehouse forms a basis for definition of model parameters, in which data is constantly being refreshed. Thus, one of the problems that is solved when market development is the service enterprises' location problem and the problem of determining the required capacity values taking into account long-term prospects. As it is investment project, it is important to consider a set of factors, including stochastic ones. Under limited resources conditions, it is necessary to analyze continuously each BSA's performance and, if necessary, redistribute them so that the total effectiveness of the service system would be increased for manufacturer. Simulation models of BSA processes and its spare parts providing logistic system allow resolving issues of loading optimization of the equipment and warehouse spaces, the choice of optimal logistic chain and many other issues. It allows increasing the total effectiveness of service system.

The main problem here is the quality of statistical data. Reliability of difficult technical systems depends on a great number of reasons; therefore, quality of the analysis will depend on quality of group of data on various basis, which can significantly influence the frequency of refusals emergence. The quality of information on automobile technical condition during the period of refusal emergence and service conditions allows the manufacturer to improve not only a design of automotive vehicles, but also a system of guarantee maintenance. When using simulation models the statistical information is applied not only at model creation, but also to check its compliance to real system (during validation and verification). Especially this issue can become critical while planning truck's service in warranty period [4, 5]. It is caused by not only the increased number of refusals during the period of running in, but also that elimination of their consequences is a liability of the manufacturer. In many cases it is necessary to deal with the incomplete or subjective information based on claims of vehicles' owners. To obtain more correct information it is possible to use data from intelligent onboard system of the vehicle. In the research [6], it is shown that to collect information on how, when, at what parameters of

environment and in what conditions the product is operated, various sensors installed on a product can be used. Authors consider the directions of using data on operational reliability, and they investigate application of modern statistical methods for ensuring management and forecasting in the field of production systems functioning. Similar approach is offered by authors of the research [7]. They state that it is possible to use multitarget algorithm of estimated probability for a prediction of probability and a choice of time of malfunction in system of guarantee maintenance. Information for the analysis is received from the integrated database of the sensor measurements and claims of the guarantee period. For reliability modeling authors use Veybull's analysis.

Forecasting of changes in service system during the launch period of the new automobile lineup. At the launch a new model lineup of automobiles it is necessary to estimate possibilities of the existing service network. For these purposes we used simulation modeling. An ultimate goal of creation of simulation model is performing of optimization computer experiment by which it is possible to define the value of control action at which the efficiency indexes will be optimal for system under the certain external conditions.

At creation of model two approaches were combined: agent-based modeling (agents - vehicles) and discrete-event simulation (rendering of a service process in BSA). Such combination allows to combine the principles of design of queuing system with simulation of the individual objects stochastic behavior.

For the agent "vehicle" two states are defined: "serviceable" and "repair is required". Transition from the first state to the second is defined by dependence of vehicle failure probability on running. The time of return to operational condition ("The average time of fault removal" – Y) is defined by parameters: percent of requisitions for spare parts directly from a warehouse (X_1), number of stations in BSA (X_2), number of workers per one station (X_3), distribution of arrivals from point of concentration of vehicles in BSA (X_4), BSA operating mode (X_5) (Fig. 2).

In addition, for each agent «vehicle», at its generation, it is determined the «type» property (the basic car, the truck tractor, the car on the trailer, the dump truck, specialized one), according to which duration of repair work is set. From the point of view of the whole network optimal functioning, the uniform loading of all subjects in relation to their design parameters with preservation of the acceptable service level of quality is rational. As the tool for development of simulation model AnyLogic software was chosen. The library of objects of discrete-event simulation – Enterprise Library – was used for developing the model [8, 9]. As trucks in most cases represent corporate fleets, when modeling two classes were created: Auto (the agent-based class, models one truck) and RKA (models a place of concentration of vehicles).

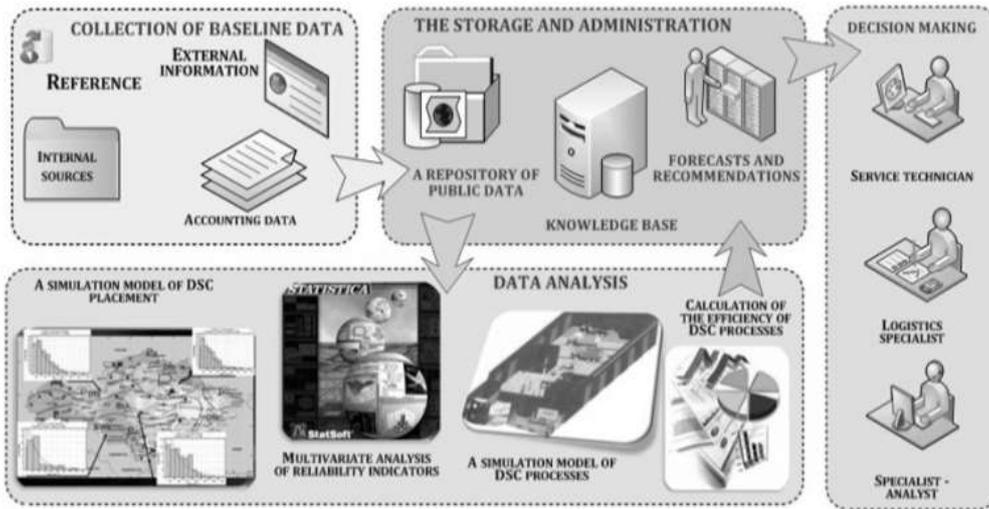


Fig. 1 The conceptual scheme of DSS

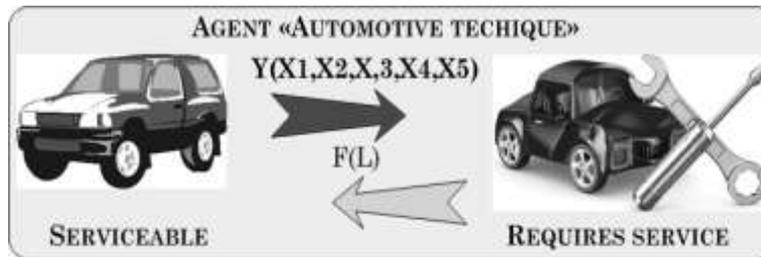


Fig. 2. Agent-based model for “vehicle” object

When the model is started, for each Auto agent an initial value of the current running (which then constantly increases by the size of $flowAuxVar$), the maximum running of the vehicle and the size of running to failure are generated. When the current run achieves the size of run to failure, the status of the agent passes from Working (“Serviceable”) into *OutOfOrder* (“Repair is required”), the demand for service is generated and the vehicle gets to a transport network and starts moving to the BSA for implementation of repair work. After the vehicle has arrived to the service center, it is used by the example of the created class *ServiceStation*. If all places on the parking for the expecting repair vehicles are occupied, the demand rejects, the car leaves BSA. If there is an empty place, the vehicle occupies it until one of repair stations is released. After any repair station is released, it verifies whether there is a necessary spare part for repair, and if that is absent, the demand gets to the delay block simulating expectation of spare parts. Then the demand gets to the delay block-imitating repair, after that leaves the system of service. For validity checking of the offered approach the functioning of the service network of the Republic of Kazakhstan that numbers 16 subjects was chosen. This market is backbone network for KAMAZ, therefore increase of service system efficiency in the conditions of the competition to the

Chinese producers is actual. As the territory of the Republic of Kazakhstan is located in four climatic zones [10], failures distribution laws were defined for each of these zones.

Criterion function of model of system management establishes balance between investments of manufacturer on development of BSN and the lost profit from loss of clients in view of excess of admissible queue length:

$$Z_1 - Z_2 \rightarrow \max \tag{1}$$

Where Z_1 – economic benefit of service of additional number of clients at the expense of the taken measures for development of BSN,

$$Z_1 = E - KL_{inv} \tag{2}$$

E – an average profit on one served client, rub.
 KL_{inv} – a difference between number of the served clients before and after development of BSN.

Z_2 – investment costs of BSN development:

$$Z_2 = P + N_{inv} \cdot S_n \tag{3}$$

P – expenses on information support (for example, on development and maintenance of needs for spare parts forecasting system), rub.

N_{inv} - number of added stations in BSN.

S_n – cost of additional station construction rub.

Overall performance of system is defined by decrease in losses of a client that depend on excess of time of delay of the vehicle in BSA in comparison with a specified time on performance of the declared works, and also minimization of expense of BSA depending on equipment and workers downtimes.

Verification of the model was carried out by the method of tracing [11]. Since each service center is a queuing system with a specified number of parallel service stations, to verify the model, the average workload of the station was compared with the calculated utilization rate for the selected period of time:

$$\rho = (m \cdot t_m) / (n \cdot t_n) \quad (4)$$

Where m – number of repaired vehicles, t_m – average repair time of one vehicle, n – number of stations in BSA, t_n – station capacity for the considered period [9].

During the simulation, data on the type-age structure of the fleet and the characteristics of the branded service auto centers were used. As the vector of the system’s response the average time spent in an automotive center belonging to the relevant format groups allocated as a result of the performed clustering in estimated parameters was used. Clustering was performed by the method of k-averages based on dendrograms, constructed according to project and estimated parameters. Graph of a clustering averaging by estimated parameters is provided on Fig. 3. Methods of statistical theory of hypothesis estimation and checking were used. To evaluate adequacy of developed model the following criteria were used:

1. Dispersions of deviations of responses of the model from the average values of response of systems. Comparison of dispersions was performed the Fisher criterion. The results, presented in Tab. 1, are shown that in all three clusters $F < F_{kp}$, i.e. the hypothesis of the importance of two estimates of dispersions distinctions is rejected.

2. The hypothesis about the proximity of the mean values of each n -component of the responses of the model Y_n to known mean values of n -component of the responses of the real system Y'_n was checked by Student’s t-test. For real system and simulation model the expectation value and dispersion Y'_n, D'_n and Y_n, D_n , were estimated (Tab. 2).

The results of calculations show that for all three clusters $t_n < t_{kp}$, i.e. the hypothesis of the proximity of the mean values of the responses of the model and the system is adopted.

The modeling error is less than 5%, which is permissible in simulation theory. This allows using this approach in the strategic planning of expanding the branded service network and entering new markets.

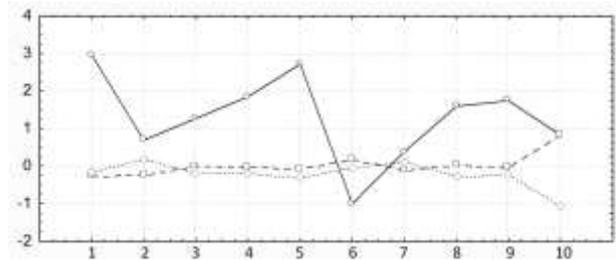


Fig. 3. Graph of a clustering averaging by estimated parameters (1- number of complaints; 2 -number of warranty vehicles; 3- volume of services; 4- cost of the sold spare parts; 5- cost of the sold vehicles; 6- number of the sold vehicles (units); 7- results of operations for the reporting period (profit/loss); 8- profitability of sales; 9- profitability of services; 10- meeting the requirements for working with clients)

Table 1

The results of calculations for the adequacy of the simulation model by dispersions of deviation of responses

cluster	system	γ_1	D_n	F	F_{kp}
1	Real system	3	2,247	3,68	4,76
	Simulation model	6	0,610		
2	Real system	3	0,868	0,47	8,94
	Simulation model	6	1,864		
3	Real system	3	2,648	1,93	8,94
	Simulation model	6	5,100		

Table2

The results of calculations for the adequacy of the simulation model based on mean response values

cluster	system	N	Y_n	D_{pn}	t_n	t_{kp}	$\Delta\omega$
1	Real system	4	37,05	1,16	1,409	2,262	0,78
	Simulation	7	36,75				
2	Real system	4	46,34	1,53	1,80	2,26	1,41
	Simulation	7	47,00				
3	Real system	4	41,90	4,28	0,21	2,26	1,39

Simulation modeling of the service center for LPG vehicles. Currently, vehicle manufacturers try to improve the environmental friendliness and energy efficiency of vehicles. The reasons are due to the urbanization in emerging economies, the growth of motorization and its negative consequences, such as emissions of toxic substances and greenhouse gases [12, 13], a decrease in the quality of life of the population, an increase in injuries and morbidity. According to the forecasts outlined in the UNEP report [14], by the year 2050 the world car fleet will triple, almost all this growth will be in developing countries. Currently, transport accounts for: more than half of the world’s consumption of liquid fossil fuels; almost a quarter of the CO₂ emissions; more than 80% of air pollution in major cities; more than 1.27 million fatal traffic accidents annually; traffic jams in many cities around the world [15]. These costs of the society make up more than 10% of the gross domestic product and will grow, first of all, because of the expected growth of the world car fleet.

It is possible to reduce harmful effects on environment from trucks fleet by its renewal. In this case, we should give preference to more environmentally friendly and energy-efficient models [16]. Of all mass-used motor fuels and technologies, natural gas provides the safest emissions of exhaust gases and has less impact on lubricating oils. Thus, the convert of cars from gasoline to gas allows reducing by an average of five times the emissions of harmful substances, and the noise effect twice. In addition, the gas does not contain the main pollutant of gasoline - sulfur. Natural gas, like motor fuel, is used in different forms: compressed natural gas (CNG), liquefied natural gas (LNG) and associated petroleum gas (APG) [17, 18]. There are about four million vehicles with CNG in the world. Compressed natural gas as a motor fuel is widely distributed in countries with natural gas reserves. Such vehicles are suitable for use as public transport [19]. In some countries LPG is used for public transport. So according to the studies [20], in Japan, Italy and Canada, 7% of buses use LPG as motor fuel.

The main deterrent in the development of this direction is the unpreparedness of the infrastructure to mass use of gas vehicles. A feature of gas vehicles is that they are need more frequent refueling, which in turn requires a more gas filling stations. In addition, it is necessary to expand or modernize the branded service network with workshops for service of gas equipment [21]. At the same time, the most important issue is the reliability of gas vehicles and the development of the system of branded automotive service, especially during the warranty period of operation [22].

As the park's types structure changes gradually, at the initial stage the more efficient solution will be the use of the existing branded service network. This decision is most reasonable for the reason that maintenance and repair of all units of natural gas vehicles, with the exception of the fuel supply system of natural gas vehicles, are performed in the same building for cars that run on liquid fuel (Fig. 4).

Taking into account that the main difference in the service of natural gas vehicles is due to the specificity of the engine and the type of fuel, for the development of the simulation model regulatory documents on the organization of technological processes for this type of vehicles were used. Failures distribution laws of the main components of the power unit, the fuel system and gas equipment, the frequency of appeals to the car dealer and other data were analyzed.

Implemented in the model algorithm provides for the maintenance of a motor vehicle with both diesel and gas engines. In addition, there is a possibility of delays in repairs due to lack of spare parts (Fig. 5). At present, it is planned to expand the fleet of natural gas vehicles (in particular, garbage trucks and other municipal vehicles), as well as buses. This will allow to make the verification and validation of the model, as well as develop recommendations for the rational development of the system of branded automotive service.

Conclusion. The performed researches have shown that only system solutions for increasing the reliability at all stages of the life cycle of automotive equipment will make it possible to increase its competitiveness, as well as to ensure the possibility of trouble-free operation. Realization of scientific approach at improvement of branded automotive service system helps to react to the arising problems at operation of vehicles of a new model range quickly, having provided possibility of improvement of constructive decisions.

Improvement of management by development and use of decision-support systems will allow to correct the actions directed on realization of strategic objectives at each stage. Simulation models as the main element of intelligent block of such systems will allow selecting the most rational variant for each combination of existing conditions. At the same time, it is necessary to create conditions for timely updating of the initial information, its operative processing and storage of ready solutions.

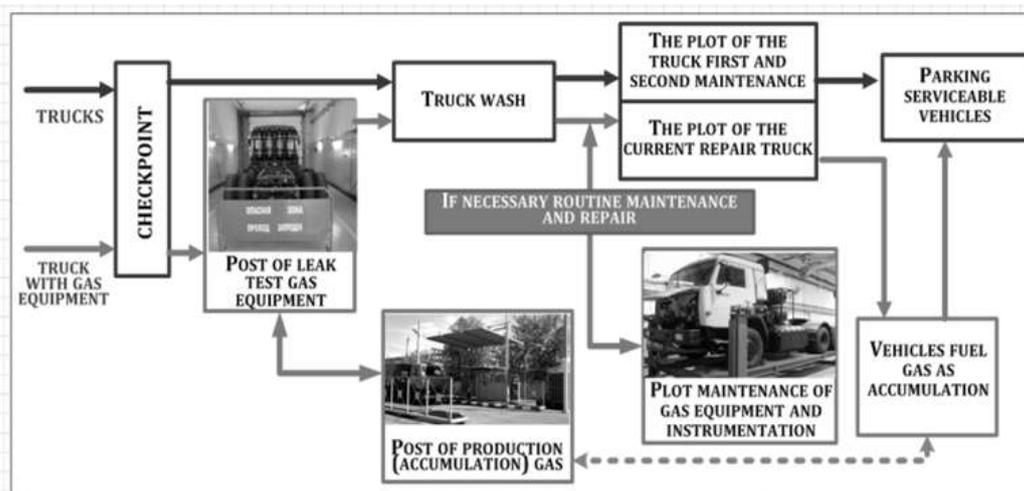


Fig. 4. The standard scheme of work on maintenance and repair of gas vehicles

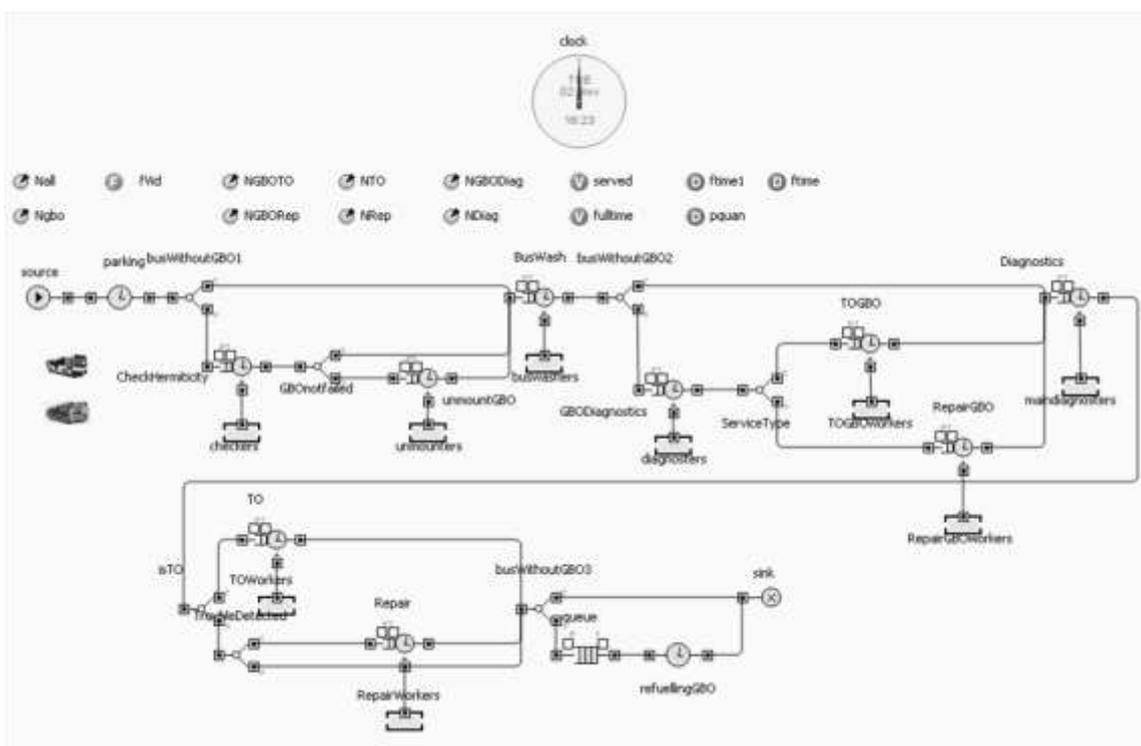


Fig. 5. Structure of the simulation model

References

- Lovelock, C.H., Wirtz, J. *Services Marketing: People, Technology, Strategy: 7th Edition*. Prentice Hall, 2011. – 612 p.
- Makarova, I. Improving the system of warranty service of trucks in foreign markets / I. Makarova, R. Khabibullin, E. Belyaev, A. Belyaev // *Transport Problems*. – 2015. – №10 (1). – P. 63-78.
- Makarova, I.V. Improving of performance system of warranty for automotive engineering abroad on the basis of data of rejections analysis / I.V. Makarova, R.G. Khabibullin, E.I. Belyaev, A.S. Safonov, A.A. Cheremin // *Innovative Mechanical Engineering Technologies, Equipment and Materials*. – 2014. – № 69.
- Mikulec, N. Analysis of Warranty Data to Identify Improvements to Vehicle Reliability and Service Information / N. Mikulec, T.Felke, S.Bangale // *SAE International Journal of Passenger Cars – Electronic and Electrical Systems*. – 2017. – № 10 (2).
- Srinivasana, R. Modelling an Optimized Warranty Analysis methodology for fleet industry using data mining clustering methodologies with Fraud detection mechanism using pattern recognition on hybrid analytic approach / R. Srinivasan, S. Manivannan, N.Ethiraj, S. PrasannaDevi, S. VinuKiran // *Procedia Computer Science*. – 2016. – № 87. – P. 322-327.
- Meeker, W.Q. Reliability Meets Big Data: Opportunities and Challenges / W.Q. Meeker, Y.Hong // *Quality Engineering*. – 2014. – №26. – P. 102-116.
- Last, M. Predictive Maintenance with Multi-target Classification Models / M. Last, A. Sinaiski, H.S. Subramania // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2010. – № 5991. – P. 368-377.
- Borshchev, A. Multi-method modelling: AnyLogic, in *Discrete-Event Simulation and System Dynamics for Management Decision Making*. Chichester, U: John Wiley & Sons Ltd, 2014.
- Matloff, N. *Introduction to Discrete-Event Simulation and the SimPy Language*. – 2008. – 33 p. URL: <http://heather.cs.ucdavis.edu/~matloff/156/PLN/DESIntro.pdf>. Last accessed: 30.03.2019.
- Koppen W. The thermal zones of the Earth according to the duration of hot, moderate and cold periods and to the impact of heat on the organic world / W.Koppen // *Meteorologische Zeitschrift*. – 2011. – № 20 (3). – P. 351-360.
- Sargent, R.G. Verification and validation of simulation models / R.G.Sargent // *Winter Simulation Conference: Proceedings of the WSC'11 Winter Simulation Conference*. – 2011. – P. 183-198.
- Puliafito, E. High resolution inventory of GHG emissions of the road transport sector in Argentina Salvador / E. Puliafito // *Atmospheric Environment*. – 2015. – № 101. – 303-311.
- Anderson, L.G. Effects of using renewable fuels on vehicle emissions / L.G. Anderson // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2015. – № 47. – P. 162-172.
- Strategic Report: Environment, Peace and Security: A Convergence of Threats, 2016. URL: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17008/environment_peace_security.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Last accessed: 30.03.2019.
- INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK 2016. Report Number: DOE/EIA-0484. URL: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf). Last accessed: 30.03.2019.
- Bergthorson, J.M. A review of the combustion and emissions properties of advanced transportation biofuels and their impact on existing and future engines / J.M. Bergthorson, M.J. Thomson // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2015. – № 42. – P. 1393-1417.

17. Chikishev, E. Prospects of and Problems in Using Natural Gas for Motor Transport in RUSSIA / E. Chikishev, A. Ivanov, I. Anisimov, D. Chainikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – № 142 (1).

18. Zhuang, Q. Accurate measurement method for the residues in liquefied petroleum gas (LPG) / Q. Zhuang, J. Yodotani, M. Kato // Fuel. – 2005. – № 84. – P. 443–446.

19. Chikishev, E. Natural Gas Use On Minibuses, Engaged In The Carriage Of Passengers And Baggage On The Regular Routes, As A Measure For Decrease In Harmful Environment Effects / E Chikishev, A Chikisheva, I Anisimov and D Chainikov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – № 50.

20. Sperling, D. Future Drive—Electric Vehicles and Sustainable Transportation. Washington, DC: Island Press, 1995.

21. UNIMOT GAZ will build a network of gas stations and LNG regasification station. URL: <http://www.unimot.pl/en/unimot-gaz-will-build-a-network-of-gas-stations-and-lng-regasification-station/> Last accessed: 30.03.2019.

22. Makarova, I. Prospects and Risks the Transfer of Motor Transport at the Gas Fuel / I.V. Makarova, R.G. Khabibullin, L.M. Gabsalikhova, E.I. Belyaev // Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety. – 2014. – № 8. – P. 214–223.

**Забински К., Макарова И.В., Шубенкова К.А.
СИСТЕМА ФИРМЕННОГО СЕРВИСА КАК
СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
АВТОПРОИЗВОДИТЕЛЯ**

В статье рассматриваются способы повышения эффективности технического обслуживания грузовых автомобилей. Предложенная методика направлена на совершенствование фирменного обслуживания на предприятиях фирменной сервисной сети ПАО «КАМАЗ». Рассмотрены возможные варианты развития сервисной сети при расширении парка транспортных средств, работающих на природном газе.

Ключевые слова: Система фирменного автосервиса; фирменная сервисная сеть; транспортные средства на природном газе

Забински Кшыштоф, аспирант, Институт Компьютерных Наук, Силезский университет в Катовицах, г. Катовице, Польша.

Żabiński Krzysztof, PhD student, Institute of Computer Science, University of Silesia in Katowice, Katowice, Poland.
E-mail: kzabinski@us.edu.pl.

Макарова Ирина Викторовна, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем» ГОУ ВО РФ «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.

Makarova Irina Viktorovna, Doctor (Tech.), Professor, a head of the Chair «Transport Systems Service», State Educational Establishment of Higher Education of Russian Federation «Kazan State University», Naberezhnye Chelny.

E-mail: kamivm@mail.ru.

Шубенкова Ксения Андреевна, к.т.н., доцент кафедры «Сервис транспортных систем» ГОУ ВО РФ «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.

Shubenkova Ksenia Andreevna, Ph.D. (Tech), Associate Professor of the Chair «Transport Systems Service», State Educational Establishment of Higher Education of Russian Federation «Kazan State University», Naberezhnye Chelny.

E-mail: ksenia.shubenkova@gmail.com.

Рецензент: Кулаков Александр Тихонович, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»,

Статья подана 2.02.2019

УДК 629.4.027.11

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЁСНЫХ ПАР

Иванов И.А., Кононов Д.П., Урушев С.В.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE RECOVERY PROFILE OF ROLL SURFACE OF WHEEL PAIRS

Ivanov I.A., Kononov D.P., Urushev S.V.

Рассмотрена недостаточная эффективность использования ресурса колёсных пар при традиционных способах восстановления профиля катания при ремонте. Отмечены возможности дальнейшего совершенствования этого процесса на основе новых технологий восстановления профиля с использованием глубинного и высокоскоростного шлифования. Анализировались существующие способы восстановления профиля катания колёс и рассматривались эффективные технологические решения, основанные на теоретических выводах и современном практическом опыте. Произведена оценка потерь ресурса колёсных пар при использовании традиционных способов восстановления профиля. Приведены предварительные параметры режимов восстановления профиля колёсных пар с использованием высокоскоростного шлифования, обеспечивающие повышение ресурса колёсных пар и производительности процесса восстановления. Показана целесообразность восстановления профиля катания колёсных пар подвижного состава железных дорог с использованием технологии врезного профильного высокоскоростного шлифования. Полученные результаты можно использовать при разработке технического задания на станок для восстановления профиля катания колёс на ремонтных предприятиях РЖД.

Ключевые слова: колёсная пара, восстановление профиля, высокоскоростное шлифование

Введение. На практике при восстановлении профиля в настоящее время наиболее распространены токарная обработка и фасонное фрезерование [1]. Основным недостатком данных способов восстановления профиля и их технологических схем является низкая способность инструмента адаптироваться к неоднородной структуре обрабатываемого материала обода колеса (ползуны, выщербины и др.). Указанный недостаток приводит к снижению производительности, заниженным режимам обработки, снижению ресурса колеса из-за обработки под корку и удалению работоспособного слоя металла обода, к увеличенному износу инструмента [2, 3].

Данные [4-6] показывают, что увеличение твердости колёс на одну единицу HV в эксплуатационном интервале твердостей увеличивает их износостойкость на 1...2%. В настоящее время твердость металла эксплуатирующихся колёс с повышенной твердостью обода у поверхности достигает 370...390 HV , снижаясь по направлению к оси колеса по сечению обода до 320...340 HV на глубине 30 мм [7]. Т.е. срезаемый слой металла обода при обточках не только уменьшает диаметр колеса, но и определяет снижение его износостойкости и ресурса.

Появление ползуна вызывает необходимость смены колёсной пары и последующей её обточки. При обточке колёсной пары с ползуном с поверхности срезается не минимально необходимый слой металла обода. Т.к. обработка ведётся подползун («под корку»), то с обода срезается полезный (работоспособный) слой металла. По данным [9] за одну обточку колёсных пар с ползунами и т.п. в стружку снимается до 3...4 мм полезного (работоспособного) слоя металла. Аналогичные рассуждения действительны и для колёс с подрезом гребня, выщербинами, наварями.

Представим назначенный ресурс T в виде суммы двух слагаемых:

$$T = T_{и} + T_{н},$$

где $T_{и}$ – используемая часть ресурса;

$T_{н}$ – неиспользуемая часть назначенного ресурса.

Т.е. в процессе ремонта удаляется работоспособный слой металла обода. Ресурс, неиспользуемый на стадии эксплуатации [8,9] из-за применяемой неэкономичной технологии восстановления, составит примерно 30...40% назначенного ресурса:

$$T_{н} \cong (0,3 \dots 0,4)T.$$

Используемый ресурс восстанавливаемых колёс с ползунами составляет примерно 60...70% назначенного ресурса ($T_n \cong (0,6 \dots 0,7)T$). Следовательно [8-10]:

$$T = T_i + T_n = 0,6T + 0,4T.$$

Целью настоящей работы является повышение качества восстановления профиля поверхности катания колеса за счёт применения фасонного шлифования. Это обусловлено возможностью обработки профиля фасонным кругом по ползунам, наварам, выщербинам. При этом не срезается работоспособный слой металла обода (как при работе «под корку») и, следовательно, повышается срок службы колеса и экономичность восстановления.

Процесс врезного профильного шлифования при восстановлении изношенной поверхности обода колеса применяется уже длительную время [10], хотя и не получил широкого распространения. При шлифовании главное движение совершает абразивный круг. Скорость резания (скорость вращения круга), м/с, $V_k = \frac{\pi dn}{1000 \cdot 60}$ (d – диаметр шлифовального круга, n – частота его вращения).

Движение круговой подачи совершает колёсная пара (колесо), подача врезания осуществляется шлифовальным кругом.

Основным недостатком процесса традиционного врезного профильного шлифования, используемого при восстановлении геометрии обода колеса, является невысокая производительность. Некоторые применяемые режимы [10]: скорость резания 30-65 м/с, подача врезания 0,005-0,06 мм/об. колеса, скорость вращения колеса 6-18 м/мин, диаметры шлифовальных кругов 400-950 мм.

Можно повысить и производительность шлифования колёс, используя возможности современных шлифовальных кругов для глубинного и высокопроизводительного шлифования, которые постоянно совершенствуются и развиваются.

Результаты исследований. В настоящее время наиболее интенсивно развиваются технологии высокоскоростного и глубинного шлифования. Их возможности по увеличению скорости съёма металла при сохранении требуемых параметров точности и качества обработки подтверждены рядом экспериментов [11]. Характеристики этих процессов приведены в табл. 1 [12].

Таблица 1

Характеристики процессов шлифования

Параметр	Традиционное шлифование	Высокоскоростное шлифование	Глубинное шлифование	Высокоэффективное глубинное шлифование
Глубина резания, мм	0,001...0,05	0,003...0,05	0,1...30	0,1...30
Скорость заготовки, м/мин	1...30	1...10	0,05...0,5	0,02...0,3
Скорость резания, м/с	20...60	100...200	20...60	80...200
Удельная скорость удаления материала, мм ³ /мм·с	0,1...10	0,1...60	0,1...10	50...2000

Как показано в работе [13], влияние скорости резания на скорость съёма обрабатываемого материала связано с проявлением трёх эффектов – кинематического, скоростного и статистического.

1. *Кинематический эффект.* Его смысл заключается в том, что изменение скорости резания приводит к пропорциональному изменению числа режущих кромок, проходящих зону шлифования в единицу времени. Этот эффект до последнего времени считали основным обоснованием возможности увеличения скорости съёма металла при высокоскоростном шлифовании. Такая позиция приводила к тому, что увеличение скорости резания всегда даёт возможность пропорционального увеличения съёма металла. В действительности же следует учитывать и другие эффекты, связанные с ростом скорости резания.

2. *Скоростной эффект.* Связан с изменением сопротивляемости металла пластическому

деформированию, трению и разрушению, а также с улучшением теплоотвода в абразивный круг и с увеличением мощностей источников тепла от трения зёрен, застойных зон и связки. В зависимости от обрабатываемого материала этот эффект может быть различным не только в количественном, но и в качественном отношении. В случае уменьшения сопротивления резанию с увеличением скорости этот эффект является дополнительным резервом увеличения скорости съёма металла и тогда он интегрирует с предыдущим эффектом.

3. *Статистический эффект.* Обусловлен этот эффект случайным характером расположения режущих кромок на рабочей поверхности круга и специфической формой среза. Его появление также связано с изменением скорости резания: увеличение скорости при шлифовании сталей и сплавов увеличивает процент режущих кромок, снимающих

стружку, т.е. выполняющих полезную работу шлифования. Кроме того, уменьшается длина пути скольжения и пластического оттеснения металла для тех режущих кромок, которые снимают стружку. При наличии этого эффекта появляется ещё одна возможность увеличения скорости съёма металла, дополняющая первые два эффекта.

Рассмотрение процесса шлифования с энергетической точки зрения [14] дополнит предложенные выше три эффекта [13] ещё и энергетическим эффектом [14]. Большая мощность электродвигателя станка передаётся на малый по размерам контактный участок шлифуемой поверхности детали. Приложенная извне механическая энергия локализуется в зоне резания в местах протекания процессов деформации и разрыва молекулярных и атомарных связей и преобразуется при этом в другие виды энергии. Эти преобразования происходят на макро, микро и нано

уровнях [14]. Например, механическая энергия вызывает в зоне шлифования деформационные процессы, которые в свою очередь выделяют тепловую энергию. Тепловая энергия, суммируясь с внутренней энергией вынужденных колебаний микрообъёмов обрабатываемого материала при больших скоростях деформаций ($\dot{\epsilon} \sim 10^4 \dots 10^8$ 1/с) и всестороннем сжатии, создаёт внутри этого твёрдого тела огромные термодинамические нагрузки на соседние микрообъёмы обрабатываемого материала.

В результате в зоне шлифования преобразование свойств материала заготовки осуществляется в условиях, которые по своим энергетическим и динамическим характеристикам соответствуют условиям взрыва химических взрывчатых веществ (ХВВ). В табл. 2 обобщены характеристики взрыва ХВВ и соответствующих данных процесса резания [15].

Таблица 2

Сравнительные данные динамических характеристик взрыва ХВВ и процесса резания

Характеристики	Взрыв ХВВ	Процесс резания
Объёмное выделение энергии, Дж/мм ³	4...8	2...70 [*]
Время протекания процесса, с	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴ ...10 ⁻⁶ (10 ⁻⁷)
Давление, ГПа	до 10	2...70 ^{**}
Температура, К	до 2·10 ³ ...4·10 ³ (в эпицентре)	до 1,5·10 ^{3***} (осреднённая)

^{*}) приведены численные значения объёмного выделения энергии наиболее распространённых типов ХВВ, таких как тротил, аммонит №7, аммонит №6ЖВ, аммонит скальный №1, аммонал водоустойчивый;

^{**}) данные объёмного выделения энергии и действующих давлений в процессе резания получены на разных операциях, при обработке широкой номенклатуры конструкционных материалов и разных режимах обработки;

^{***}) приведены осреднённые температуры, зафиксированные на периферии зоны резания. Экспериментальных данных по температуре в местах протекания взрыва и разрушения при резании на сегодня нет.

Определение явления взрыва и сравнение его количественных характеристик с аналогичными параметрами процессов, происходящих в зоне стружкообразования, позволяет предположить, что резание является разновидностью взрыва. В природе не известно другого физического явления, характеризующегося такими же параметрами изменения состояния вещества, называемого иначе, чем взрыв [15].

Взрыв при резании имеет свои особенности и свой механизм накопления и освобождения энергии. Взрыв в зоне стружкообразования происходит в среде твёрдого тела, подверженного воздействию внешней механической энергии, переданным рабочим инструментом (в рассматриваемом случае – шлифовальным кругом) – заготовке. Постоянство контакта обеспечивает непрерывное поступление механической энергии и её накопление в виде внутренней энергии сопротивления разрыву атомарно-молекулярных связей и энергии сопротивления структурным превращениям. Накопление следует до момента потери энергетической устойчивости элементарными центрами разрушения, такими как электронные оболочки [15, 16]. Источником взрыва служит

концентрация выделившегося в процессе сложных, быстротекущих физико-химических явлений тепла. Одним из наиболее изученных в настоящее время процессов, протекающих в зоне стружкообразования, является процесс пластического деформирования материала срезаемого слоя.

Металлографические исследования корней стружек, выполненных в разное время [15, 17, 18], выявляют закономерность растекания обрабатываемого материала вдоль поверхностей контакта с режущим инструментом. На микрошлифах эффект растекания выглядит в виде тонких, толщиной 1,5...10 мкм «усов», расположенных практически параллельно друг другу. Предположение о взрыве в зоне стружкообразования позволяет принять допущение о существовании перехода слоёв материала микроскопической толщины в состояние, характеризующееся сверхтекучестью. Роль третьего тела в виде прослойки материала, находящегося в состоянии сверхтекучести, оказывает влияние на характеристики резания и особенности износа режущего инструмента, но до настоящего времени не изучена [15]. Вероятно, это сказывается на

особенностях процесса сверхскоростного шлифования, обеспечивающего снижение энергосиловых и износных параметров процесса.

Совмещение высокоскоростного и глубинного шлифования радикально повышает эффективность обработки. Как отмечается в [19], комплекс явлений, протекающих на микроуровне на поверхности раздела «твёрдое тело – среда» при деформировании и разрушении металлов, приводит к снижению энергосиловых параметров в 1,5...3 раза и изменению характера деформирования материала на микроуровне. Показано, что на интенсивность и характер стружкообразования может значительно влиять адсорбционный эффект, микромеханизм и условия проявления которого при шлифовании мало изучен. Предложена научно-обоснованная методика критериальной оценки наличия в зоне шлифования кинетических условий для проявления адсорбционного эффекта. Развита физическая модель представления о способе влияния адсорбированных атомов на зарождение и эволюцию дислокаций, проявление адсорбционного эффекта и определение латентного периода его развития при шлифовании.

Выполненные экспериментальные исследования шлифования колёсной стали на скоростях резания 60 и 80 м/с и врезной подаче 10 мм/мин показали снижение температуры резания с увеличением скорости резания [20].

В работе [21] на основе лучевых методов теории распространения и рассеяния волн построена математическая модель взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого материала и на качественном уровне оценены процессы, происходящие в зоне обработки. Отмечено, что при высокоскоростном шлифовании перед зерном происходит накопление энергии, обуславливающее переход материала из твёрдого состояния в пластическое, усиленный отвод энергии из зоны взаимодействия, уменьшение составляющих силы резания.

По данным Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского (ХАИ), принципиально новым этапом развития, повышающим эффективность обработки ответственных деталей авиадвигателей, является использование скоростного и высокоскоростного глубинного шлифования (ВСГШ). Для процесса характерно повышение скоростей резания до 100...180 м/с. Есть основания полагать, что указанные выше скорости не задаются предельными, поскольку имеется принципиальная возможность их повышения до 300...500 м/с. Кинетика резания при высоких скоростях обеспечивает не только высокую скорость съёма металла, но и увеличивает точность формообразования, снижает шероховатость обрабатываемых поверхностей и уменьшает толщину слоя, несущего следы пластической деформации, которая сопровождает процесс резания. Важной особенностью процесса является

сохранение практически неизменными исходных физико-химических свойств поверхностного слоя обрабатываемых материалов.

Принципиальные достоинства процесса ВСГШ имели решающее значение для проведения всесторонних исследований и широкого практического внедрения процесса на машиностроительных производствах. При обработке сталей достигнута скорость резания 180 м/с и скорость съёма металла более 100 мм³/мм·с.

В работах [22, 23] отмечается, что повышение скорости резания до 120...200 м/с приводит к уменьшению параметров шероховатости, снижению температуры в зоне резания и уменьшению следов пластической деформации. Время адгезионного схватывания материала детали превышает время взаимодействия абразивных зёрен с обрабатываемой поверхностью, что минимизирует засаливание рабочей поверхности круга. Значение контактной температуры при этом меньше температуры образования прижогов.

Основываясь на имеющейся информации для совершенствования процесса восстановления профиля поверхности катания колёсных пар, можно предложить [20, 24] использование врезного профильного высокоскоростного шлифования (ВПВШ). Ориентировочные режимы: скорость резания 150...250 м/с, подача врезания 5...10 мм/мин, скорость вращения колёсной пары 1,0...1,5 м/с.

Выводы. 1. Проанализированы традиционные способы восстановления профиля колёсных пар термомеханическими дефектами (ползуны и др.) с позиций эффективности использования их ресурса.

2. Основным недостатком этих способов восстановления является низкая способность инструмента адаптироваться к неоднородной структуре обода колеса (ползуны, выщербины и др.). При этом процесс восстановления ведётся «под корку», срезая лишний работоспособный слой металла обода и сокращая срок службы колеса.

3. Рассмотрены возможности врезного профильного высокоскоростного шлифования с учётом кинематического, скоростного, статистического и энергетического эффектов. Механизм накопления и освобождения энергии в зоне стружкообразования представлен как разновидность взрыва, так как характеризуется такими же параметрами состояния вещества, что и при взрыве химических взрывчатых веществ.

4. Принято допущение о существовании в зоне стружкообразования перехода микроскопических слоёв материала в состояние сверхтекучести, что обеспечивает снижение энергосиловых и износных параметров процесса ВПВШ профиля колёсных пар.

5. Предложены ориентировочные режимы врезного профильного высокоскоростного шлифования профиля поверхности катания колёсных пар.

Л и т е р а т у р а

1. Ivanov I.A. Methods of recovery of serviceability of railway wheels during the repairs / I.A. Ivanov // *Transp. and Eng., Railway Transp.* – 2004. – Ser. 6, sej. 17. – P. 43-54.
2. Ivanov I. Recovery tread wheel pair of machining / I. Ivanov, A. Tarapanov, D. Kononov, A. Vorobev // *Transp. prob.* – 2013. Vol. 8, Is. 3. – P. 105-113.
3. Ivanov I.A. Efficiency of utilization of lifetime of railway wheels // *Scientific proceedings of Riga technical university. 6 seria, Transport and engineering.* – Riga.: RTU. – 2003. – P. 37-42.
4. Марков Д.П. Трибология и её применение на железнодорожном транспорте / Труды ВНИИЖТ. – М.: Интекст. – 2007. – 408 с.
5. Колёсная сталь / Узлов И.Г., Гасик М.И., Есаулов А.Т. и др. – Киев.: Техника. – 1985. – 168 с.
6. Марков Д.П. Повышение твёрдости колёс подвижного состава // *Вестник ВНИИЖТ.* – 1995. - №3. – С. 10-17.
7. Пашолок И.Л., Филиппов Г.А., Шишов А.А. Колёса с повышенной твёрдостью обода производства ОАО «ВМВ». / Сб. докладов научно-практич. конф. «Колесо-рельс 2003». – М.: ООО «Интекст». – 2003. – С. 56-57.
8. Ресурс и ремонтпригодность колёсных пар подвижного состава железных дорог / Монография // Под ред. проф. И.А. Иванова. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 264 с.
9. Эксплуатация и ремонт колёсных пар вагонов / А.Ф. Богданов, В.Г. Чурсин. – М.: Транспорт. 1985. – 270 с.
10. Богданов А.Ф., Иванов И.А., Ситаж М. Восстановление профиля поверхности катания колёсных пар: учебное пособие / Под ред. д.т.н. И.А. Иванова. – СПб.: ПГУПС, 2000. – 128 с.
11. Кремень З.И. Технология шлифования в машиностроении / З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин; под общ.ред. З.И. Крёмня. – СПб.: Политехника, 2007. – 424 с.
12. Бойцов А.Г., Дудаков В.Б. Тенденции в развитии шлифовальных технологий // *Ритм машиностроения.* - М.: ООО «МедиаПром», 2015, №8. С.11-17.
13. С.А. Васин, А.С. Верещака, В.С. Кушнер. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: Учеб. для техн. вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с.
14. Ярославцев В.М. Технологический процесс – энергетический преобразователь // *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журнал, № 07, июль 2012.*
15. Ярославцев В.М. Новое о процессе резания // *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журнал, №07, июль 2011.*
16. Штамповка взрывом. Основы теории / под ред. М.А. Онучина. М.: Машиностроение, 1972. – 151 с.
17. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. М.: Машиностроение, 1967. – 416 с.
18. Ярославцев В.М. Новое представление о металлической стружке // *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журнал, №02, 2013, с. 1-10.*
19. Сурду М.В. Підвищення ефективності шліфування важкооброблюваних матеріалів за рахунку удосконалення кінематики процесів: автореф. дис. канд. тех. наук 14.01.06 / Сурду М. В.; НТУ ХПІ. – Х., 2006. – 22 с.
20. Иванов И.А., Будюкин А.М., Продан Н.С. Некоторые результаты исследования процесса силового

шлифования стали цельнокатаных колёс / Межвузовский сборник «Совершенствование технологического процесса ремонта и формирования колёсных пар подвижного состава». Л.: ЛИИЖТ, 1979. – С. 103-113.

21. Кадильников А.В. Повышение эффективности высокоскоростного шлифования сталей путём использования абразивного зерна рациональной формы и его ориентации в связке инструмента / Автореф. дис. канд. техн. наук. Волгоград. 2010. – 16 с.

22. Аверков К.В. Повышение качества и производительности абразивной обработки деталей из жаропрочных сталей на никелевой основе за счёт определения рациональных технологических параметров сверхскоростного шлифования / Автореф. дис. канд. техн. наук. Омск. 2011. – 19 с.

23. Аверков К.В., Веселкова Е.В. Высокоскоростное шлифование жаропрочных и жаростойких сплавов / Межвузовский сборник «Конструкционно-технологическое обеспечение надёжности колёс рельсовых экипажей». – СПб.: ПГУПС, 2014. – С. 183-188.

24. Ivanov I., Evseev D., Ovsyanikova I., Tarapanov A. Analysis of forming tread wheel sets // *Transp. Problems* - 2017. Vol.12. Is.3. P.45-42.

R e f e r e n c e s

1. Ivanov I.A. Methods of recovery of serviceability of railway wheels during the repairs / I.A. Ivanov // *Transp. and Eng., Railway Transp.* – 2004. – Ser. 6, sej. 17. – P. 43-54.
2. Ivanov I. Recovery tread wheel pair of machining / I. Ivanov, A. Tarapanov, D. Kononov, A. Vorobev // *Transp. prob.* – 2013. Vol. 8, Is. 3. – P. 105-113.
3. Ivanov I.A. Efficiency of utilization of lifetime of railway wheels // *Scientific proceedings of Riga technical university. 6 seria, Transport and engineering.* – Riga.: RTU. – 2003. – P. 37-42.
4. Markov D.P. Tribologija i ejo primenenie na zheleznodorozhnom transporte / *Trudy VNIIZhT.* – М.: Intekst. – 2007. – 408 p.
5. Markov D.P. Povyshenie tvjordosti koljos podvizhnogo sostava // *Vestnik VNIIZhT.* – 1995. - №3. – P. 10-17.
6. Pasholok I.L., Filippov G.A., Shishov A.A. Ko-ljosa s povyshennoj tvjordost'ju obodaprodukcija ОАО «VMV». / *Sb. dokladovnauchno-praktich. konf. «Koleso-rel's 2003».* – М.: ООО «Intekst». – 2003. – P. 56-57.
7. Resursiremontoprigodnost' koljosnyh par podvizhnogosostavazheleznihdorog / *Monografija* // Pod red. prof. I.A. Ivanova. – М.: INFRA-M, 2016. – 264 p.
8. Jekspluacijairemontkoljosnyh par vagonov / A.F. Bogdanov, V.G. Chursin. – М.: Транспорт. 1985. – 270 p.
9. Bogdanov A.F., Ivanov I.A., Sitazh M. Vosstanovlenieprofiljapoverhnostikatanijakoljosnyh par: uchebnoeposobie / Pod red. d.t.n. I.A. Ivanova. – SPb.: PGUPS, 2000. – 128 p.
10. Kremen' Z.I. Tehnologijashlifovanija v mashinostroenii / Z.I. Kremen', V.G. Jur'ev, A.F. Baboshkin; pod obshh.red. Z.I. Kremnja. – SPb.: Politehnika, 2007. – 424 p.
11. Bojcov A.G., Dudakov V.B. Tendencii v razvitiishlifoval'nyhtehnologij // *Ritmmashinostroenija.* - М.: ООО «МедиаПром», 2015, №8. P. 11-17.
12. S.A. Vasin, A.S. Vereshhaka, V.S. Kushner. Rezaniamaterialov: Termomehanicheskijpodhod k sistemevzaimo-svjazejprirezanii: Ucheb.dljatehn. vuzov. – М.: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2001. – 448 p.

13. Jaroslavcev V.M. Tehnologicheskij process – jenergeticheskijpreobrazovatel' // Naukaiobrazovanie. MGТУ im. N.Je. Baumana. Jelektron.zhurnal, №07, ijul' 2012.

14. Jaroslavcev V.M. Novoe o processerezanija // Naukaiobrazovanie. MGТУ im. N.Je. Baumana. Jelektron.zhurnal, №07, ijul' 2011.

15. Shtampovkavzryvom. Osnovyteorii / pod red. M.A. Onuchina. M.: Mashinostroenie, 1972. – 151 p.

16. Razvitienauki o rezaniiimetallov / V.F. Bobrov, G.I. Granovskij, N.N. Zorevi dr. M.: Mashinostroenie, 1967. – 416 p.

17. Jaroslavcev V.M. Novopredstavlenie o metallicheskojstruzhke // Naukaiobrazovanie. MGТУ im. N.Je. Baumana. Jelektron.zhurnal, №02, 2013, p. 1-10.

18. Surdu M.V. Pidvishhennjaefektivnostishlifovan-njavazhkoobroblyvanihmaterialiv za rahunokudoskonalennjakinumatikiprocusiv: avtoref. dis. kand. teh. nauk 14.01.06 / Surdu M. V.; NTU HPI. – H., 2006. – 22 p.

19. Ivanov I.A., Budjukin A.M., Prodan N.S. Nekotoryerezul'tatyissledovanijaprocessasilovogoshlifovanijastalicer'nokatanyhkoljos / Mezhvuzovskijsbornik «Sovershenstvovanietehnologicheskogoprocessaremontaiformirovanijakoljosnyh par podvizhngosostava». L.: LIIZhT, 1979. – P. 103-113.

20. Kadir'nikov A.V. Povysheniejeffektivnostivysokoskorostnogoshlifovanijastalejputjomispol'zova-nijaabrazivnogozernaracional'nojformyi ego orientacii v svjazkeinstrumenta / Avtoref. diss. kand. teh. nauk. Volgograd. 2010. – 16 p.

21. Averkov K.V. Povysheniekachestvaiproizvoditel'nostibrazivnojobrabortkidetalejzharoprochnyhstalejnanik elevojnosove za schjotopredelenijaracional'nyhtehnologicheskijparametrovverhskorostnogoshli-fovanija / Avtoref. diss. kand. teh. nauk. Omsk. 2011. – 19 p.

22. Averkov K.V., Veselkova E.V. Vysokoskorostnoeshlifovaniezharoprochnyhizharostjkihsplavov / Mezhvuzovskijsbornik «Konstrukcionno-tehnologicheskoeobespechenienadjozhnostikoljosrel'sovyhjekipazhej». – SPb.: PGUPS, 2014. – S. 183-188.

23. Ivanov I., Evseev D., Ovsyanikova I., Tarapanov A. Analysis of forming tread wheel sets //Transp. Problems - 2017. Vol.12.Is.3. P.45-42.

Ivanov I.A., Kononov D.P., Urushev S.V.
IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE RECOVERY PROFILE OF ROLL SURFACE OF WHEEL PAIRS

Considered insufficient resource efficiency wheel pairs in traditional ways of restoring profile of roll surface during repairs. Marked features to further improve this process on the basis of new technologies profile recovery using deep and high-speed grinding. Analyzed the existing methods for recovering profile of roll surface wheels and considered effective technological solutions based on the theoretical findings and modern experience. Assess resource losses of

wheel pairs when using traditional methods of restoration profile. Provides preliminary recovery modes settings profile wheel pairs using high-speed grinding, providing increased performance and wheel pairs resource recovery process. The expediency of restoring profile skating wheel pairs of rolling stock of railways cut technology profile. The results obtained can be used in the development of technical specifications for the machine to restore the profile to the wheel repair enterprises riding railways.

Keywords: *wheelset, recovery profile, high-speed grinding*

Иванов Игорь Александрович, д.т.н., профессор кафедры «Технология металлов» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».
E-mail:ivanov_1_7@mail.ru

Ivanov Igor Alexandrovich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Metal technology» «Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University».
E-mail:ivanov_1_7@mail.ru

Кононов Дмитрий Павлович, к.т.н., доцент кафедры «Технология металлов» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».
E-mail:d_kononov@mail.ru

Kononov Dmitry Pavlovich, candidate of technical sciences, Associate Professor of the chair «Metal technology» «Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University».
E-mail:d_kononov@mail.ru

Урушев Сергей Викторович, д.т.н., профессор кафедры «Технология металлов» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».
E-mail:tehmet_pgups@mail.ru

Urushev Sergey Viktorovich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Metal technology» «Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University».
E-mail:tehmet_pgups@mail.ru

Рецензент: Губачева Лариса Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 16.03.2019

УДК 621.874

ТОРМОЗА С РЕГУЛИРУЕМЫМ ТОРМОЗНЫМ МОМЕНТОМ – КОНСТРУКЦИИ, МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ТОРМОЗНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Криничный П. Ю.

BRAKE WITH ADJUSTABLE BRAKING TORQUE – THE DESIGN, THE METHOD OF CALCULATING THE OPTIMUM BRAKING PERFORMANCE

Krinichny P. Yu.

В статье приведены конструкции тормозных устройств, изложена концепция метода расчета (формирования) оптимальных (рациональных) тормозных характеристик механизмов передвижения мостовых кранов, оборудованных различными конструкциями тормозных устройств.

Ключевые слова: тормозные устройства, многопараметрическая оптимизация

Введение. Опыт экспертного обследования грузоподъемных кранов показал, что распространенным дефектом механизмов передвижения мостовых кранов г/п 5 т и г/п 10 т являются большие угловые зазоры (люфты) быстроходных валов, являющиеся следствием износа шпоночных соединений в муфтах на тихоходных валах приводов и в шпоночных соединениях редукторов. Основной причиной этого дефекта являются большие нагрузки при торможении кранов колодочными одноступенчатыми тормозами ТТ, ТКГ и др., торможение крана противовключением электродвигателей.

Изложение основных материалов. Логичным является появление разработка конструкций колодочных тормозов со ступенчатым нарастанием тормозного момента. На рис. 1 и 2 показаны две конструкции из предлагаемых нами ступенчатых тормозов с электрогидравлическими толкателями.

В помещенном на рис. 1 тормозе параллельно замыкающей пружине установлена дополнительная пружина, с тягой которой взаимодействует гидравлический демпфер с регулируемым дросселем и обратным клапаном, а тяга дополнительной пружины в верхней части имеет паз, а в нижней – удлинитель [1]. Растормаживание тормоза происходит электрогидротолкателем. При этом тяга дополнительной пружины перемещается вверх, а удлинитель отходит от штока гидравлического демпфера. Верхний конец тяги имеет паз, позволяющий подводить и осуществлять

прижатие тормозных колодок к шкиву усилием только замыкающей пружины, т.е. реализовать первую ступень торможения.

Продолжительность первой ступени торможения определяется зазорами в тяге дополнительной пружины и регулировкой дросселя гидравлического демпфера (подробнее см. [1]).

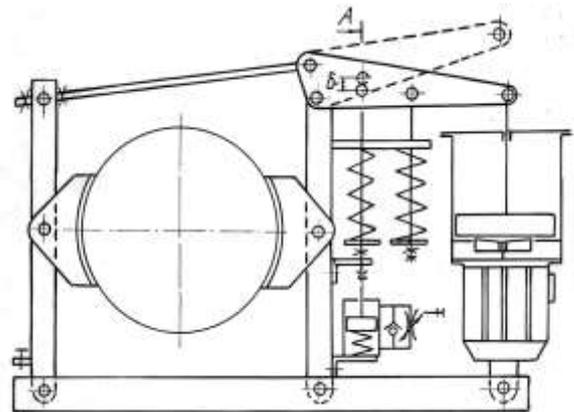


Рис. 1. Функциональная схема двухступенчатого тормоза с гидродемпфером

После выбора зазоров между тягой дополнительной пружины и элементами тормоза, на трехплечий рычаг начинает действовать усилие от дополнительной пружины и происходит увеличение тормозного момента до номинального значения.

Еще два технических решения, позволяющие повысить эффективность тормоза за счет быстрого подвода тормозных колодок к шкиву с дальнейшим плавным увеличением силы прижатия колодок (т.е. величины тормозного момента), подробно описаны в [2, 3].

На рис. 2 помещена функциональная схема тормоза с плавным или ступенчатым изменением тормозного момента.

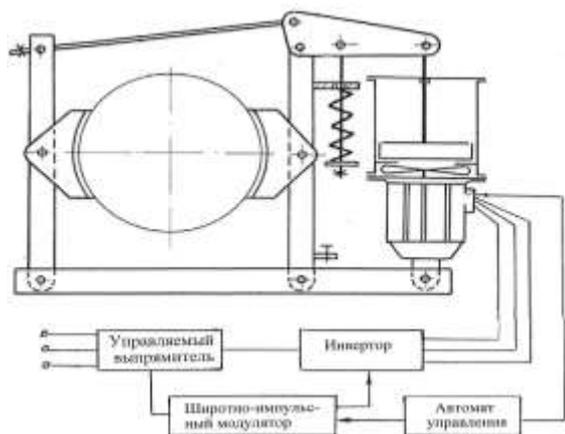


Рис. 2. Функциональная схема тормоза с плавным или ступенчатым изменением тормозного момента

В начале торможения механизма передвижения частота вращения вала электродвигателя гидротолкателя уменьшается путем регулирования, например, частоты питающего напряжения, что приводит к уменьшению давления жидкости под поршнем, а следовательно к уменьшению усилия на штоке толкателя (кривая $P_{тол} = f(n)$ на рис. 3).

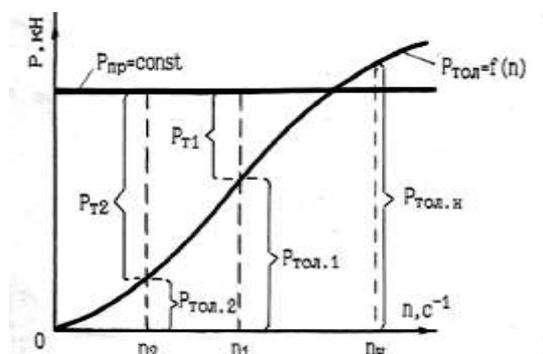


Рис. 3. Кривая $P_{тол} = f(n)$

Как только приведенное к колодкам усилие толкателя $P_{тол}$ станет меньше приведенного усилия $P_{пр}$ рабочей пружины, колодки прижмутся к тормозному шкиву и начнется процесс торможения. Сила прижатия тормозных колодок $P_{Т1}$, $P_{Т2}$, $P_{Тn}$ определяется разностью приведенных усилий рабочей пружины $P_{пр}$ и толкателя $P_{тол}$. Изменяя автоматом управления плавно или дискретно частоту напряжения, можно реализовать различные законы изменения тормозного момента тормоза.

Представленные на рис. 1-2 тормоза в настоящее время проходят испытание на лабораторном стенде кафедры. (рис.4)



Рис. 4. Общий вид стенда для испытания тормозных устройств

На рис. 5 показаны кинематическая и измерительная схемы стенда.

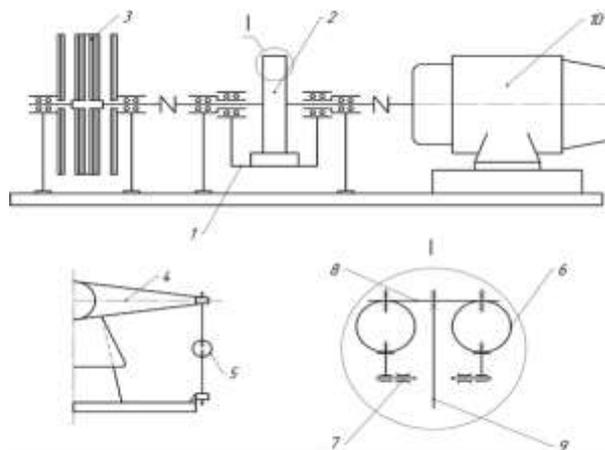


Рис.5. Кинематическая схема стенда

Исследуемый тормоз 2 установлен на качающуюся раму 1, которая подвешена на подшипниках качения к стойкам. Тормозной момент измерялся с помощью динамометрических колец 5, соединенных сферическими шарнирами с основанием. Коромысло 4 жестко закреплено на качающейся раме 1. Положение штока 9 толкателя тормоза определялось с помощью потенциометра, подвижный контакт которого закреплен на штоке, а основание - на корпусе толкателя. Динамометрические кольца 6 (служащие для измерения усилия толкателя) шарнирно закреплены на трехплечем рычаге 7 тормоза и соединены с коромыслом 8, связанным со штоком 9 с помощью сферических шарниров.

Привод стенда состоит из разгонного двигателя 10, системы питания, системы управления и контроля режимами работы стенда. С целью расширения диапазона аккумулируемой кинетической энергии в качестве разгонного двигателя принят двигатель постоянного тока типа П-61М мощностью 12 кВт. Система питания двигателя изготовлена на базе выпрямительной станции ВС-25, предназначенной для

преобразования переменного тока в постоянный в пределах 0...380 В. Блок управления состоит из понижающего трансформатора, выпрямителя и программного устройства. В качестве программного устройства автоматического режима управления использовано моторное реле ВС-10. Оно имеет шесть независимых групп контактов, время срабатывания которых может варьироваться в диапазоне 3...180 с. Для возврата программы в исходное положение используется электронное реле времени.

Приводом станда, исследуемым тормозом, измерительной аппаратурой, датчиками и системой сигнализации управляет группа функционально зависимых реле, пускателей и переключателей.

В разделе 9 РТМ 24.090.28-77, посвященном расчету тормозных моментов, кран рассматривается как одномассовая система, в расчет не вводятся фактические тормозные характеристики механизма, не учитываются жесткости элементов привода и металлоконструкции, гибкий подвес груза. Рекомендуются замедления даны без учета пролета кранов, при определении тормозного момента рассматривается движение крана без груза. При таком подходе нельзя говорить о нахождении оптимального тормозного момента даже для случая применения одноступенчатых тормозов. Случаи многоступенчатого торможения в этих РТМ не рассматриваются.

Методика расчета (формирования) оптимальных тормозных характеристик механизмов передвижения, оборудованных различными конструкциями тормозных устройств, изложена в [4-6].

При изучении тормозных процессов мостовые краны представлены трех- и четырехмассовыми динамическими моделями. В уравнения движения крана вводятся действительные механические характеристики $P_0(\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \tilde{z}_3, \dots)$ установленного на кране тормозного устройств, где $\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \tilde{z}_3, \dots$ - величины (факторы), характеризующие (задающие) вид тормозной характеристики. Например, при двухступенчатом торможении \tilde{z}_1 - величина тормозного момента первой ступени торможения, \tilde{z}_2 - время торможения на первой ступени торможения.

На первой стадии исследований эксперимент целесообразно ставить на математической модели (вычислительный эксперимент) и заключается он в определении основных параметров переходного процесса численным интегрированием уравнений движения крана с грузом при торможении по ξ -ой тормозной характеристике.

Для того, чтобы из семейства тормозных характеристик, которые может формировать данное тормозное устройство, выбрать оптимальную, необходимо договориться, по каким параметрам процесса торможения будем оценивать "качество"

тормозного процесса. "Качество" тормозных процессов передвижения мостового крана всесторонне может быть охарактеризовано только совокупностью параметров. При представлении мостового крана четырехмассовой моделью, это: время торможения крана t_{ti} ; максимальная приведенная нагрузка в элементах привода P_{pri}^{max} ; максимальная нагрузка на металлоконструкцию P_{mi}^{max} ; максимальная горизонтальная составляющая натяжения канатов P_{ki}^{max} .

Задача оптимизации процессов с несколькими откликами решена применением в качестве критерия оптимальности обобщенной функции желательности D . Для ее построения значения параметров t_{ti} , P_{pri}^{max} , P_{mi}^{max} , P_{ki}^{max} . необходимо преобразовать в значения частных желательностей, т.е. получить зависимости: $d_{1i} = f1(t_{ti})$, $d_{2i} = f2(P_{pri}^{max})$, $d_{3i} = f3(P_{mi}^{max})$, $d_{4i} = f4(P_{ki}^{max})$.

Значение желательности D_i в i -ом вычислительном эксперименте:

$$D_i^y = \sqrt[4]{d_{1i} \cdot d_{2i} \cdot d_{3i} \cdot d_{4i}} \quad (1)$$

Априорная информация позволяет выбрать основные уровни и интервалы варьирования факторов (т.е. начальную тормозную характеристику и область варьирования факторов для описания локального участка поверхности отклика).

В качестве математической модели этого участка принят полином первой степени:

$$D_i^p = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j \cdot Z_{ji} \quad (2)$$

который содержит информацию о направлении градиента функции отклика (здесь Z_{ji} - кодированное значение j -го фактора в i -ом эксперименте).

Расчет (поиск) рациональной тормозной характеристики механизма передвижения мостового крана выполнен методом крутого восхождения. Коэффициенты уравнения (1) рассчитываются обработкой полученных в результате вычислительного эксперимента значений D_i^y методом наименьших квадратов.

Выводы. Существенным недостатком при торможении кранов колодочными одноступенчатыми тормозами, являются повышенные потери энергии и повышенный нагрев двигателей, существенно снижающий срок их службы.

Усовершенствованная конструкция тормозных устройств мостового крана в режиме двухступенчатого торможения является эффективным инструментом повышения технико-

экономических показателей эксплуатируемых в настоящее время грузоподъемных кранов.

Литература

1. Патент на полезную модель № 49877 Колодкове гальмо двоступенчатого гальмування. /Будиков Л.Я., Канаев С.Ф. - Опубл. 11.05.2010. Бюл. № 9.

2. Патент RU № 2060228 C1, 6 В 66 D 5/08. Тормоз / Будиков Л.Я. – Опубл. 20.05.96. Бюл. № 14.

3. Патент RU № 2162437 C1, 7 В 66 D 5/08, F 16 D 49/16. Колодочный тормоз / Будиков Л.Я., Фоменко Г.П. – Опубл. 27.01.2001. Бюл. № 3.

4. Будиков Л.Я. Многопараметрические исследования динамики мостовых кранов: Учебное пособие. – Луганск: изд-во Луганского ун-та им. В. Даля, 2015. – 236 с

5. Будиков Л.Я., Шишкин Р.В. О формировании оптимальных тормозных характеристик механизмов передвижения грузоподъемных кранов на базе многопараметрического анализа переходных процессов. Ч. 1 - Методика расчета // Подъемные сооружения. Специальная техника, № 7-8(126) – Одесса: ООО «Крантест», 2012. - С. 19-22.

6. Будиков Л.Я., Шишкин Р.В. О формировании оптимальных тормозных характеристик механизмов передвижения грузоподъемных кранов на базе многопараметрического анализа переходных процессов. Ч. 2 - примеры расчета // Подъемные сооружения. Специальная техника, № 9(127) – Одесса: ООО «Крантест», 2012. – С. 16-20.

References

1. Utility model patent № 49877 Two-stage brake Shoe/Budikov L.Y., Kanaev S. F. Publ. 11.05.2010. Bul. No. 9.

2. Patent RU № 2060228 C1, 6 В, 66 D 5/08. Brake / Budikov L. Ya. – Publ. 20.05.96. Bul. No. 14.

3. Patent RU No. 2162437 C1, 7 В 66 D 5/08, F 16 D 49/16. Drum brakes / Budikov L. Ya., Fomenko G. P. – Publ. 27.01.2001. Bul. No. 3.

4. Budikov L. Ya. Multiparameter studies of the dynamics of bridge cranes: Textbook. – Lugansk: publishing house of the Luhansk University them. V. Dalia, 2015. – 236 s

5. Budikov L. Ya., Shishkin R. V. On the formation of

optimal braking characteristics of the mechanisms of movement of cranes on the basis of multiparameter analysis of transients. Part 1 - Method of calculation // Lifting facilities. Special equipment, No. 7-8(126) – Odessa: LLC "Crontest", 2012. - P. 19-22.

6. Budikov L. Ya., Shishkin R. V. On the formation of optimal braking characteristics of the mechanisms of movement of cranes on the basis of multiparameter analysis of transients. Part 2 - examples of calculation // Lifting structures. Special equipment, No. 9(127) – Odessa: LLC "Crontest", 2012. – P. 16-20.

Krinichny P.Yu.

BRAKE WITH ADJUSTABLE BRAKING TORQUE – THE DESIGN, THE METHOD OF CALCULATING THE OPTIMUM BRAKING PERFORMANCE

The article presents described constructions of braking devices, the concept of the calculation method of optimum (rational) brake characteristics of mechanisms of bridge crane movement, equipped with different constructions of braking devices.

Keywords: *braking devices, multiparametric optimization.*

Криничный Павел Юрьевич, старший преподаватель кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: krini4ny.pavel@yandex.ua

Krinichny Pavel, senior lecturer of the «Industrial and urban transport» State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: krini4ny.pavel@yandex.ua

Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич, доктор технических наук, профессор, кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 31.03.2019

УДК 536.584

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ НАГНЕТАТЕЛЬНОГО ТИПА ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Куликов Ю.А., Ажиппо А.Г., Колесников С.А.

RESEARCHES OF ENERGY PROCESSES IN THE COOLING-WAITING DEVICES OF TRANSFER TYPE TRANSFER TYPE MACHINES

Kulykov Yu.A., Azhippo A.G., Kolesnikov S.A.

Целью работы является исследование процессов течения теплоносителя в охлаждающих устройствах с нагнетательной аэродинамической схемой для повышения эффективности работы транспортных машин нового поколения путем сокращения затрат мощности на привод вентиляторов в результате их работы на «холодном» воздухе, с повышением теплорассеивания радиаторов от увеличения турбулизации закрученного вентилятором воздушного потока на входе и уменьшения динамических потерь на выходе из охлаждающего устройства (сечение радиатора значительно больше сечения, ометаемого лопастями вентилятора). Применены методы исследования: теплового баланса и математического моделирования; аналитические методы решения систем дифференциальных уравнений, теория подобия.

Ключевые слова. Охлаждающее устройство, вентилятор, радиатор, пластина, давление, плотность, аэродинамический расчет.

Введение. При создании охлаждающих устройств одной из основных задач является определение аэродинамического сопротивления системы и процессов теплопередачи в радиаторах.

Конечной целью расчетов охлаждающих устройств является определение затрат мощности на привод вентиляторов, перемещающих воздушный поток. Для их определения необходимо знать требуемый расход воздуха и сопротивление аэродинамического тракта. Расход воздуха определяется в результате теплового расчета, а аэродинамическое сопротивление – как сумма потерь в основных элементах аэродинамического тракта.

Анализ предшествующих исследований и публикаций. Сравнение охлаждающих устройств всасывающего и нагнетательного типов позволяет выявить основное отличие в энергетических процессах движения охлаждающего воздуха, а именно: в системах всасывающего типа вентилятор располагается за радиатором и перемещает воздух, нагретый в радиаторе; в охлаждающих устройствах нагнетательного типа вентилятор располагается

перед радиатором и перемещает закрученный поток воздуха с температурой окружающей среды к радиатору, интенсифицируя его теплорассеивание; динамические потери на выходе из системы определяются фронтальным сечением радиатора, которое значительно больше сечения, ометаемого лопастями вентилятора (рис. 1).

Существующие методы энергетического расчета разработаны для охлаждающих устройств всасывающего типа [1, 2]. Для проведения расчетных исследований охлаждающих устройств нагнетательного типа требуются дополнительные исследования, учитывающие особенности работы охлаждающего устройства такого типа.

Целью работы является исследование влияния элементов охлаждающего устройства на аэродинамическое сопротивление тракта между параллельными пластинами обрешетки охлаждающего устройства (рис. 1).

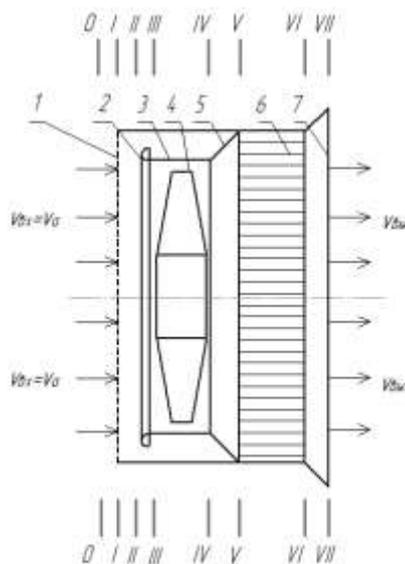


Рис. 1. Схема аэродинамического тракта системы охлаждения нагнетательного типа двигателя автомобиля
1 – облицовочная решетка; 2 – коллектор (конфузор);

3 – обечайка вентилятора; 4 – вентилятор; 5 – кожух вентилятора; 6 – радиатор; 7 – диффузор.
 0-I – сечение перед облицовочной решеткой;
 I-II – канал между облицовочной решеткой и коллектором (конфузором); II-III – коллектор (конфузор);
 III-IV – вентилятор; IV-V – кожух; V-VI – радиатор;
 VI-VII – диффузор; VII-VIII – сечение за диффузором

Материалы и результаты исследования.

Эффективная работа охлаждающего устройства двигателя внутреннего сгорания обеспечивается совершенством радиатора и аэродинамического тракта, которые обеспечивают минимальное аэродинамическое сопротивление.

Для описания движения воздушного потока в охлаждающем устройстве нагнетательного типа (рис. 1) воспользуемся уравнениями движения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости в декартовой системе координат для стационарного процесса:

$$\begin{aligned} \rho \left(v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) &= \\ &= \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right); \\ \rho \left(v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) &= \\ &= \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right); \\ \rho \left(v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) &= \\ &= \rho g_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right); \end{aligned} \tag{1}$$

где v – скорость, м/с;
 ρ – плотность, кг/м³;
 μ – динамическая вязкость, Па·с;
 P – давление, Па.

В уравнениях (1) 4 неизвестных, поэтому необходимо добавить уравнение неразрывности (сплошности)

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \tag{2}$$

Уравнение энергии для движущейся среды:

$$v_x \frac{\partial t}{\partial x} + v_y \frac{\partial t}{\partial y} + v_z \frac{\partial t}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \dots \tag{3}$$

где $a = \frac{\lambda}{\rho C_p}$ – коэффициент температуропроводности, м²/с,

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);
 C_p – удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С).
 и дифференциальное уравнение теплоотдачи

$$\alpha = - \frac{\lambda}{t_c - t_{жс}} \left(\frac{\partial t}{\partial y} \right)_{y=0}, \dots \tag{4}$$

где t_c – температура стенки, °С;
 $t_{жс}$ – температура жидкости, °С.

Система уравнений (1), (2), (3) и (4) является чрезвычайно сложной и решается только в простейших случаях при значительных упрощениях и допущениях [4,5 и 6.]. Данная система уравнений описывает целый класс энергетических процессов и ее конкретизация по отношению к рассматриваемой задаче требует присоединения к ней следующих условий однозначности:

- геометрических (геометрическая характеристика объекта);
- физических – ρ, λ, C_p и др. (данный процесс протекает при постоянной температуре теплоносителей на всех участках, кроме радиатора: $t = \text{const}$, в радиаторе – $t = \frac{t'_2 + t''_2}{2}$);
- временные (процесс стационарный);
- граничные условия третьего рода: согласно закону Ньютона-Рихмана теплота, отдаваемая окружающей среде,

$$q = \frac{Q}{F} = \alpha(t_c - t_{жс}),$$

где F – поверхность теплоотдачи, м²;
 α – коэффициент теплоотдачи от поверхности радиатора к среде, которая должна быть равна теплоте, подводимой к поверхности путем теплопроводности:

$$\alpha(t_c - t_{жс}) = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_c,$$

где λ – коэффициент теплопроводности вещества, $\frac{Вт}{м \cdot К}$;
 $\frac{\partial t}{\partial n} = grad t$ – температурный градиент, $\frac{°С}{м}$.

Очевидно, что на коротких участках до вентилятора пограничный слой отсутствует (разрушается). Режим движения воздушного потока определяется числом Рейнольдса

$$Re = \frac{vd}{\nu}.$$

Вентилятор закручивает поток воздуха, который направляется на радиатор. Можно предположить, что на участке между вентилятором и радиатором отсутствует пограничный слой.

Ввиду сложности решения системы уравнений получены решения для относительно простых случаев, когда многие члены уравнений можно приравнять нулю и применить соответствующие упрощения и допущения. Иногда вся задача сводится к решению одного уравнения вместо системы. Такое решение получено для ламинарного движения потока между плоскими стенками и в круглой трубе [6], которое может быть применено для теоретического описания движения воздушного потока между охлаждающими пластинами в радиаторе.

При рассмотрении ламинарного течения несжимаемой жидкости между параллельными стенками бесконечной ширины ось X направлена по течению (рис. 2). Составляющие скорости v_y и v_z равны нулю и из уравнения неразрывности получим:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} = 0.$$

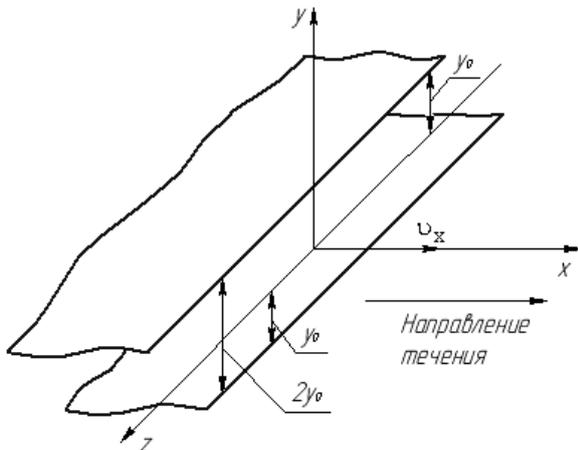


Рис. 2. Течение в щели (между пластинами)

Так как $v_y = 0$, $v_z = 0$ и $\frac{\partial v_x}{\partial x} = 0$, то уравнение движения, направленного по оси X , примет вид:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right). \quad (5)$$

Если канал расположен горизонтально, то g равно нулю. Расположение осей показано на рис. 2, из которого видно, что канал имеет ширину $2y_0$ и неограниченно простирается в направлении оси Z .

Поэтому v_x не зависит от Z , так что $\frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} = 0$, и уравнение (5) примет вид:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}. \quad (6)$$

В уравнении движения (1), направленном по оси Z , все члены, содержащие v_z и g равны нулю, так что $\frac{\partial p}{\partial z} = 0$. Если ширина канала $2y_0$ в уравнении движения (1), направленном по оси Y , предполагается малой, можно пренебречь вертикальной составляющей g и тогда данное уравнение сведется к $\frac{\partial p}{\partial y} = 0$. Таким образом, p не

зависит от Y и Z , и вместо $\frac{\partial p}{\partial x}$ можно писать $\frac{dp}{dx}$.

Так как v_x и, следовательно, $\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}$ не зависят от X ,

то можно утверждать, что во всех точках канала, удовлетворяющего сформулированным условиям,

производная $\frac{dp}{dx}$ постоянна. Поэтому

дифференциальное уравнение, которое нужно решить, имеет вид:

$$\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} = const. \quad (7)$$

Интегрирование уравнения (7) позволяет получить:

$$\frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} y. \quad (8)$$

Постоянная интегрирования равна нулю, так как при $y = 0$ $\frac{\partial v}{\partial y} = 0$ (для удобства записи y скорости v опущен индекс). В результате второго интегрирования получим:

$$v = \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} (y^2 - y_0^2) \quad (9)$$

(так как $v = 0$ при $y = y_0$).

Поскольку $\frac{dp}{dx} < 0$ и $y^2 < y_0^2$, это уравнение обычно записывают в виде:

$$v = -\frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} (y_0^2 - y^2). \quad (10)$$

Максимальная скорость v_{\max} достигается при $y = 0$:

$$v = v_{\max} \left[1 - \left(\frac{y}{y_0} \right)^2 \right]. \quad (11)$$

Из уравнения (10), при условии $y = 0$, получим:

$$\frac{dp}{dx} = - \frac{3\mu v}{y_0^2}. \quad (12)$$

Аэродинамическое сопротивление охлаждающего устройства определяется потерями энергии воздушного потока на отдельных участках аэродинамического тракта (рис. 1) и описывается уравнением Бернулли

$$\begin{aligned} p_v = & \Delta p_{реш} + \Delta p_{кан} + \Delta p_{рад} + \Delta p_{диф} + \\ & + \Delta p_{вых} - \rho_2' \frac{v_a^2}{2} = \zeta_{реш} \rho_2' \frac{v_a^2}{2} + \\ & + \zeta_{кан} \rho_2' \frac{v_{фр}^2}{2} + \zeta_{рад} \rho_{2ср} \frac{v_{фр}^2}{2} + \\ & + \zeta_{диф} \rho_2'' \frac{v_{фр}^2}{2} + \\ & + \zeta_{вых} \rho_2'' \frac{v_{фр}^2}{2} \left(\frac{f_{фр}}{f_{вп}} \right) - \rho_2' \frac{v_a^2}{2}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\Delta p_{реш}$, $\Delta p_{кан}$, $\Delta p_{рад}$, $\Delta p_{диф}$, $\Delta p_{вых}$ – потери давления в облицовочной решетке, в канале между облицовочной решеткой и коллектором (конфузором), в радиаторе, в диффузоре и на выходе из устройства соответственно;

$\zeta_{реш}$, $\zeta_{кан}$, $\zeta_{рад}$, $\zeta_{диф}$, $\zeta_{вых}$ – коэффициенты аэродинамического сопротивления облицовочной решетки, канала между облицовочной решеткой и коллектором (конфузором), радиатора, диффузора и на выходе из устройства соответственно;

$\zeta_{реш} = \beta_1 k_1 \sin \theta$ – коэффициент аэродинамического сопротивления облицовочной решетки [5], где β_1 – коэффициент формы стержней;

$$k_1 = \left(\frac{S_1}{a_0} - 1 \right)^{4/3};$$

S_1 – расстояние между осями двух соседних стержней, м;

a_0 – просвет между двумя соседними стержнями, м;

θ – угол наклона стержня к потоку;

$\zeta_{диф} = f(\alpha, n_1, Re)$ – коэффициент аэродинамического сопротивления диффузора [5], где α – угол раскрытия диффузора;

$n_1 = \frac{F_1}{F_0}$ – степень расширения диффузора;

F_1 – площадь сечения на выходе из диффузора;

F_0 – площадь сечения на входе из диффузора;

$D_z = \frac{4F_0}{\Pi_0}$ – гидравлический диаметр;

Π_0 – периметр сечения (на входе).

Выбор формы переходных участков при переходе с круга на квадрат определяется следующим соотношением [5]:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{2\sqrt{a_1 b_1} - D_0}{2\ell_{диф}},$$

где a_1 – длина квадрата;

b_1 – ширина квадрата;

$\ell_{диф}$ – высота диффузора;

D_0 – диаметр круга.

Суммарные потери энергии воздушного потока аэродинамического тракта

$$\begin{aligned} p_v = & K_{реш} \frac{32\mu v_{реш}}{D_{реш}^2} + K_{кан} \frac{32\mu v_{кан}}{D_{кан}^2} + \\ & + K_{рад} \frac{32\mu v_{радср}}{D_{рад}^2} + K_{диф} \frac{32\mu v_{диф}}{D_{диф}^2} + \\ & + K_{вых} \frac{32\mu v_{вых}}{D_{вых}^2}, \end{aligned} \quad (14)$$

где K – коэффициенты, уточняющие теоретическое решение по отношению к участкам тракта, полученные на основе эксперимента

(например, $K_{реш} = \frac{\Delta p}{\frac{32\mu v_{реш}}{D_{реш}^2}}$).

Уравнение (14) позволяет получить затраты мощности на привод вентилятора

$$N_2 = \frac{P_v \cdot V_2}{\eta},$$

где V_2 – расход воздуха, обеспечиваемый вентилятором, м³/с;

η – КПД вентиляторной установки.

Полученные уравнения (13) и (14) необходимо уточнить экспериментальными исследованиями величин ζ_i и K_i .

Выводы. Исследовано влияние параметров охлаждающего устройства на аэродинамическое

сопротивление тракта и получено выражение для определения потерь энергии воздушного потока между параллельными стенками охлаждающего устройства.

Л и т е р а т у р а

1. Куликов Ю. А. Некоторые аспекты моделирования охлаждающего устройства транспортного средства при неполном обдуве поверхности теплообмена вентилятором / Ю. А. Куликов, В. А. Лахно, Абдель-Баги Валид // Приднепровский научный вестник. – 1997. – № 51 (62). – С. 28 – 32. – (Серия «Технические науки»).

2. Куликов Ю. А. Особенности энергетического расчета системы охлаждения автомобиля при неполном охвате радиатора кожухом / Ю. А. Куликов, А. В. Гончаров, Ю. Н. Томачинский, А. А. Верховодов // Автомобильный транспорт. – Харьков: Збірник наукових праць, 2007. – № 20. – С. 27 – 30.

3. Жукаускас, А. А. Конвективный перенос в теплообменниках / А. А. Жукаускас – Москва: Наука, 1982. – 472 с.

4. Исаченко, В.П. Теплопередача: [учебник для вузов] / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А.С. Сукомел – Москва: Энергоиздат, 1981.

5. Теория тепломассообмена: [учебник для вузов] / [С. И. Исаев, И. А. Кожин, В. И. Кофанов и др.]; под ред. А. И. Леонтьева. – Москва: Высшая школа, 1979. – 495 с.

6. Беннет, К. О. Гидродинамика, теплообмен и массообмен / К. О. Беннет, Дж. Е. Майерс.; [перевод с английского Ассмус М. Г. и Ентова В. М. под редакцией Гельперина Н. И. и Чарного И. А.]. – Москва: Издательство «Недра», 1966. – 726 с.

R e f e r e n c e s

1. Kulikov Yu. A. Nekotoryye aspekty modelirovaniya okhlazhdayushchego ustroystva transportnogo sredstva pri nepolnom obduve poverkhnosti teploobmena ventilyatorom / Yu. A. Kulikov, V. A. Lakhno, Abdel-Bagi Valid // Pridneprovskiy nauchnyy vestnik. – 1997. – № 51 (62). – С. 28 – 32. – (Seriya «Tekhnicheskiye nauki»).

2. Kulikov Yu. A. Osobennosti energeticheskogo rascheta sistemy okhlazhdeniya avtomobilya pri nepolnom okhvate radiatora kozhukhom / YU. A. Kulikov, A. V. Goncharov, YU. N. Tomachinskiy, A. A. Verkhovodov // Avtomobil'niy transport. – Kharkiv: Zbirnik naukovikh prats', 2007. – № 20. – С. 27 – 30.

3. Zhukauskas, A. A. Konvektivnyy perenos v teploobmennikakh / A. A. Zhukauskas – Moskva: Nauka, 1982. – 472 s.

4. Isachenko, V.P. Teploperedacha: [uchebnik dlya vuzov] / V. P. Isachenko, V. A. Osipova, A.S. Sukomel – Moskva: Energoizdat, 1981.

5. Teoriya teplomassoobmena: [uchebnik dlya vuzov] / [S. I. Isayev, I. A. Kozhinov, V. I. Kofanov i dr.]; pod red. A. I. Leont'yeva. – Moskva: Vysshaya shkola, 1979. – 495 s.

6. Bennet, K. O. Gidrodinamika, teploobmen i massoobmen / K. O. Bennet, Dzh. Ye. Mayyers.; [prevod s angliyskogo Assmus M. G. i Yentova V. M. pod redaktsiyey

Gel'perina N. I. i Charnogo I. A.]. – Moskva.: Izdatel'stvo «Nedra», 1966. – 726 s.

Kulikov Y.A., Azhippo A.G., Kolesnikov S.A. RESEARCHES OF ENERGY PROCESSES IN THE COOLING-WAITING DEVICES OF TRANSFER TYPE TRANSFER TYPE MACHINES

The aim of the work is to study the processes of coolant flow in cooling devices with an aerodynamic injection circuit to increase the efficiency of new generation transport vehicles by reducing the power consumption of the fan drive as a result of their operation in "cold" air, with increased heat dissipation of radiators from increased turbulization of the air flowed by a fan at the entrance and reduce the dynamic losses at the exit of the cooling device (the cross section of the radiator is much more the longer section, swept fan blades). The following research methods were applied: heat balance and mathematical modeling; analytical methods for solving systems of differential equations, similarity theory.

Key words. Cooling device, fan, radiator, plate, pressure, density, aerodynamic calculation.

Куликов Юрий Андреевич, д.т.н., проф. кафедры «ДВС», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: kafedraDVS@yandex.ru

Kulykov Yury, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «ICE» Department of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: kafedraDVS@yandex.ru

Ажиппо Александр Генрихович, старший преподаватель кафедры «Промышленного и городского транспорта», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: aazhippo@mail.ru

Azhippo Aleksandr, senior lecturer of the « Industrial and urban transport » Department of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: aazhippo@mail.ru

Колесников Станислав Александрович, студент кафедры «ДВС», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: kafedraDVS@yandex.ru

Kolesnikov Stanislav, student of the «ICE» Department of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: kafedraDVS@yandex.ru

Рецензент: Семин Дмитрий Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Гидрогазодинамики», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 31.03.2019 года

УДК 711.5, 656

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТЕЙ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Леонова С.А.

MATHEMATICAL MODELING OF SYSTEMS OF URBAN TRANSPORT

Leonova S.A.

В статье рассмотрены вопросы моделирования городских транспортных сетей, выделены группы и подгруппы моделей, их назначение и возможности. Представлены программные комплексы, позволяющие получить данные о транспортных потоках в сети, исследовать зависимости одних параметров от других при изменении внешних условий. Предлагается создание оптимизационной модели с наличием транспортно-пересадочных узлов (ТПУ), которая позволит обеспечить эффективную работу системы городского общественного транспорта, минимизировать среднее время поездки, определить оптимальное количество и места размещения пересадочных узлов.

Ключевые слова: городские транспортные системы, моделирование, прогнозные модели, имитационные модели, оптимизационные модели, матрица корреспонденций, транспортно-пересадочные узлы.

Введение. Для исследований процессов городского транспорта используется математическое моделирование. Важным для системы городского транспорта является полное обеспечение транспортной доступности всех районов города, снижение транспортных издержек. При решении задач математического моделирования в области городских транспортных систем необходимым является снижение времени реализации транспортных корреспонденций, правильное использование всех городских ресурсов [1, 2]

Существенной проблемой современного общества является повышение уровня автомобилизации населения, что влечет за собой ухудшение экологической обстановки, перегруженность городских улиц, увеличение времени реализации транспортных передвижений. С одной стороны, увеличение числа автомобилей является показателем экономического развития региона, повышает мобильность населения, улучшает условия и качество жизни граждан, а с другой стороны, влечет за собой значительный ряд проблем, связанных со снижением скорости доставки пассажиров в системе городского транспорта, особенно в часы «пик».

Во многих крупных городах России пытаются сдерживать рост автомобилизации (по примеру мегаполисов зарубежных стран). Это возможно только с использованием мультимодальных городских транспортных систем, эффективного взаимодействия всех видов городского общественного транспорта с наличием транспортно-пересадочных узлов.

Математическое моделирование является наиболее совершенным и вместе с тем наиболее эффективным методом моделирования. Выделим основные группы моделей [2]:

- 1) прогнозные;
- 2) имитационные;
- 3) оптимизационные модели.

Каждая группа моделей позволяет решать определенные задачи, связанные с развитием городских транспортных систем. Это такие задачи, как:

- транспортное планирование и управление;
- оптимизация процесса перевозки пассажиров.

Также каждая группа моделей исследует определенные объекты городских транспортных систем:

- транспортный городской поток;
- транспортное средство;
- пассажиропоток;
- параметры и критерии оптимизации работы транспортных систем.

С помощью моделирования возможно наглядно представить транспортные процессы, изучить и спрогнозировать транспортные потоки, с учетом влияния различных внешних и внутренних факторов, таких как:

- строительство новых линий городского общественного транспорта;
- реконструкция участков транспортной сети;
- создание инфраструктуры транспортно-пересадочных узлов;
- закрытие определенных участков городской сети;
- влияние различных условий движения в транспортной системе;

– изменение структуры городской маршрутной сети и расписания движения общественного транспорта.

Все известные модели используются для моделирования объемов транспортной работы, позволяют изучить предложение и спрос на транспортные услуги (таблица 1).

Таблица 1

Возможности прогнозных, имитационных и оптимизационных моделей		
№п/п	Группа моделей	Назначение, возможности
1	Прогнозные (прогнозирование во времени, прогнозирование в пространстве)	Моделирование объемов перевозок в транспортной системе, принимая, что известна величина пассажиропотока и направление движения, заданы пункты зарождения и погашения пассажиропотоков. Имеется возможность прогнозирования изменений в системе городского транспорта, связанных с изменением спроса и предложения транспортных услуг. Расчет основных характеристик движения, составление усредненной матрицы корреспонденций с учетом, как правило, трудовых поездок, изучение интенсивности потоков, расщепление пассажиропотоков по путям движения.
2	Имитационные	Могут являться дополнением к прогнозным моделям. Есть возможность наглядного воспроизведения деталей движения во времени. Возможна оценка скорости движения, существующего и прогнозируемого времени задержки транспортных средств на перекрестках, количество и места «заторов» и другие параметры движения. Использование этих моделей целесообразно при проектировании транспортных сетей, организации дорожного движения, установке оптимальных по времени светофорных циклов на перекрестках и т.д.
3	Оптимизационные	Самые сложные модели. Решают задачи обеспечения эффективности работы городских транспортных систем в целом с учетом дальнейшего экономического и транспортного развития регионов. Учитывают эволюцию транспортных систем.

Прогнозные и имитационные модели позволяют рассчитать матрицу корреспонденций, то есть определить объем перевозок пассажиров между транспортными районами или остановочными пунктами. Основным программным продуктом для создания таких транспортных моделей является программа PTV Vision® VISUM, которая позволяет наиболее подробно представить и спрогнозировать транспортные потоки с перспективой на несколько лет вперед. Альтернативой этому программному продукту является программный комплекс Aimsun NG (TSS), функции и возможности которого аналогичны PTV Vision® VISUM. Однако этот продукт не получил особого распространения на российском рынке. Сейчас активно изучается отечественный программный комплекс «Citraf», который можно назвать аналогом PTV Vision® VISUM [3]. Этот программный комплекс позволяет получить все данные о транспортных потоках в сети, исследовать зависимости одних параметров от других при изменении внешних условий.

В последнее время созданы прогнозные, имитационные транспортные модели крупных российских городов, таких как Москва, Санкт-Петербург, Пермь, Самара, Томск, Астрахань и т.д.

В таких моделях наглядно представлены транспортные корреспонденции, выполнен расчет величин транспортных связей между значимыми городскими объектами. При составлении матрицы корреспонденций учитывается объем транспортной работы за сутки, места зарождения и погашения городских и пригородных пассажиропотоков. Это так называемый «паук» корреспонденций.

Пример «сети» корреспонденций для городского округа Самара представлен на рисунке 1.

«Паук» корреспонденций позволяет оценить уровень транспортной обеспеченности всех районов города. Можно привести пример матрицы корреспонденций для городского округа Самара для девяти транспортных районов – Куйбышевский, Самарский, Ленинский, Железнодорожный, Октябрьский, Советский, Промышленный, Кировский, Красноглинский (таблица 1). В каждой ячейке таблицы указано количество пассажиров, перемещающихся между указанными районами [4]. На пересечении одинаковых районов стоит прочерк, так как принимается в качестве исходных данных, что жители города не используют транспорт при перемещении внутри одного района.

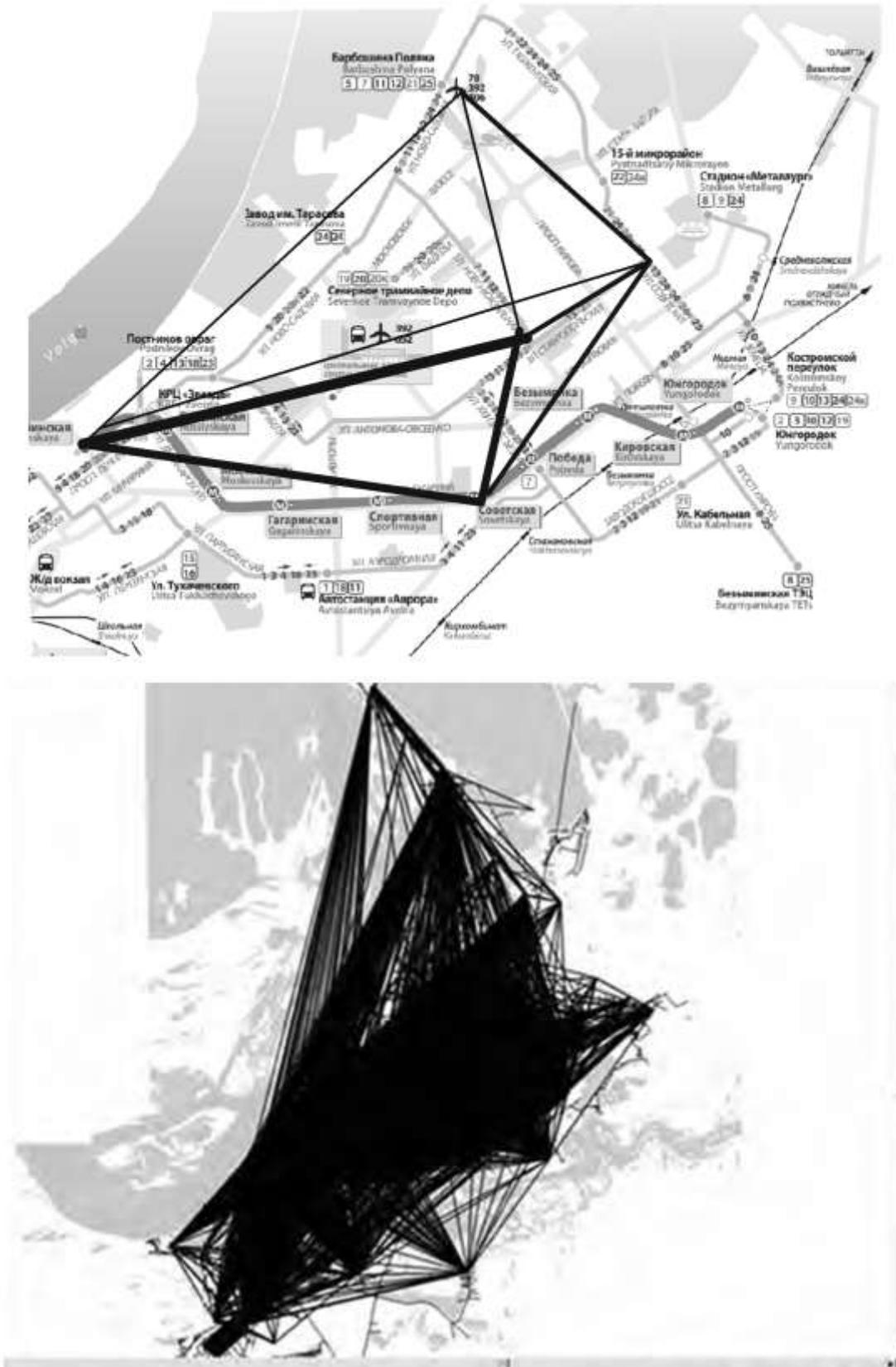


Рис. 1. Пример «сети» корреспонденций для городского округа Самара

Таблица 1

Матрица корреспонденций для девяти транспортных районов

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	125	143	118	204	99	59	136	18
2	125	-	320	82	123	42	37	79	9
3	143	320	-	389	495	113	117	265	25
4	118	82	389	-	931	670	572	2238	91
5	204	123	495	931	-	478	215	534	40
6	99	42	113	670	478	-	931	1524	127
7	59	37	117	572	215	931	-	3315	655
8	136	79	265	2238	534	1524	3315	-	408
9	18	9	25	91	40	127	655	408	-

В настоящее время необходимым является создание системы транспортно-пересадочных узлов с целью минимизации времени поездки, обеспечения надлежащего уровня комфорта и сервиса, и, как следствие, отказ от использования личных автомобилей в пользу общественного транспорта в черте города [5]. На современном этапе развития городского общественного транспорта предлагается создание транспортно-пересадочных узлов, время пересадки в которых не будет превышать 3 мин. При этом важной задачей является определение оптимального количества ТПУ. Это возможно только за счет создания оптимизационной модели, которая позволит минимизировать среднестатистическое время поездки при заданном объеме корреспонденций и времени на передвижение через k -й пересадочный узел, определить рациональное число пересадочных узлов.

В первом приближении целесообразно считать, что выбор пересадочных узлов в первую очередь связан с количеством пересаживающихся пассажиров. Это следует хотя бы из того, что генеральный критерий оптимальности пассажирской сети требует минимизации среднестатистического времени одного маршрута сети T :

$$T = \frac{1}{\sum_{i,k,j} c_{ikj}} \sum_{i,k,j} c_{ikj} t_{ikj} \rightarrow \min \quad (1),$$

где $t_{i,k,j}$ - время, затрачиваемое на маршрут при каждом варианте пересадочной остановки (может быть и многих пересадочных остановок);

c_{ikj} – объем пассажиропотока (матрица корреспонденций).

Выражение (1) показывает, что эта величина определяется в основном большими значениями количества пассажиров. То есть уменьшение времени на пересадку, которое будет после строительства удобного пересадочного узла будет тем существеннее, чем большего числа пассажиров это будет касаться.

При составлении оптимизационной модели также необходимо учитывать внедрение такой

системы оплаты проезда, при которой пассажир покупает билет и может использовать его в течение часа независимо от числа используемых видов городского общественного транспорта, количества пересадок.

Выводы. 1. Для эффективного функционирования транспортной системы городского общественного транспорта необходимо создание оптимизационной модели с наличием транспортно-пересадочных узлов.

2. Выбор пути передвижения каждым пассажиром по городской сети основывается на наилучшем выборе для каждого человека с учетом минимального времени на осуществление поездки (в том числе и через ТПУ). Данная модель позволяет выбрать наилучший маршрут передвижения для каждого пассажира таким образом, чтобы минимизировать общее время поездки пассажиров в системе городского общественного транспорта.

3. Использование модели с наличием транспортно-пересадочных узлов позволяет определить оптимальное количество и места размещения транспортно-пересадочных узлов в черте города.

Л и т е р а т у р а

1 Трофименко, Ю.В., Якимов, М.Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография / Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 464 с.

2 Якимов М.Р. Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах: монография / М.Р. Якимов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. - 175 с.

3 Калужный Николай Анатольевич. Методика оптимизации размещения транспортно-пересадочных узлов в системе городского пассажирского транспорта. Дисс. канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2019. – 254 с.

4 Майоров Е.Р., Уварова Л.А., Сапрыкин О.Н. Расчет параметров микромоделей транспортных потоков города Самара / Труды V Всероссийской конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS'2017)». Изд-во: ГОУ ВПО "Уфимский государственный авиационный технический университет", Уфа. – 2017 г. – с.156-160.

5 Железнов Д.В., Леонова С.А. Определение необходимого количества транспортно-пересадочных узлов в городах России / Вестник транспорта Поволжья №4. – Самара: СамГУПС, 2017. - с.53-59.

References

1. Trofimenko, Yu.V., Yakimov, M.R. Transportnoe planirovanie: formirovanie effektivnyh transportnyh sistem krupnyh gorodov: monografiya / Yu.V. Trofimenko, M.R. Yakimov. – M.: Logos, 2013. – 464 s.

2. Yakimov M.R. Konceptiya transportnogo planirovaniya i organizacii dvizheniya v krupnyh gorodah: monografiya / M.R. Yakimov. – Perm': Izd-vo Perm. gos. tekhn. un-ta, 2011. - 175 s.

3. Kalyuzhnyj Nikolaj Anatol'evich. Metodika optimizacii razmeshcheniya transportno-peresadochnyh uzlov v sisteme gorodskogo passazhirskogo transporta. Diss. kand. tekhn. nauk. – Sank-Peterburg, 2019. – 254 s.

4. Majorov E.R., Uvarova L.A., Saprykin O.N. Raschet parametrov mikromodeli transportnyh potokov goroda Samara / Trudy V Vserossijskoj konferencii «Informatcionnye tekhnologii intellektual'noj podderzhki prinyatiya reshenij (ITIDS\2017)». Izd-vo: GOU VPO «Ufimskij gosudarstvennyj aviacionnyj tekhnicheskij universitet», Ufa. – 2017 g. – s.156-160.

5. Zheleznov D.V., Leonova S.A. Opredelenie neobhodimogo kolichestva transportno-peresadochnyh uzlov v

gorodah Rossii / Vestnik transporta Povolzh'ya №4. – Samara: SamGUPS, 2017. - s.53-59.

Леонова Светлана Александровна, старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой», Самарский государственный университет путей сообщения, (г. Самара)

E-mail: Svetlana.8709@mail.ru

Leonova Svetlana, Senior Lecturer of the "Management of operational work", Samara State University of Communications, (Samara)

E-mail: Svetlana.8709@mail.ru

Рецензент: Губачева Лариса Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 16.03.2019

УДК 629.331

СЕРВИС ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**Макарова И.В., Мухаметдинов Э.М., Габсалихова Л.М.****SERVICE OF ENERGY EFFICIENT VEHICLES****Makarova I.V., Moukhametdinov E.M., Gabsalikhova L.M.,**

Статья посвящена вопросам энергоэффективности транспортных средств. Рассмотрены основные проблемы внедрения электробусов в России. Приведено сравнение основных частей электробуса и троллейбуса. Разработан технологический процесс ежедневного технического обслуживания электробуса.

Ключевые слова: энергоэффективность, сервис, экологичность.

Негативные последствия бурного развития автостроения, выражающиеся главным образом в загрязнении окружающей среды вредными продуктами, содержащимися в выхлопных газах, были признаны одним из основных критических факторов будущего развития общества. Растущая концентрация населения в городских зонах вынуждает задуматься о необходимости преимущественного использования экологическим транспортом, удовлетворяющего экологическим требованиям. Основными направлениями повышения энергоэффективности автотранспорта в развитых странах становятся техническое регулирование и экономическое поощрение к использованию более эффективных технологий.

К 2025 году глобальные тенденции по изменению потребительских предпочтений окажут влияние на структуру российского рынка автомобильной техники. Неизбежно возникнет потребность в продуктах с принципиально новыми свойствами, таких как, электромобили, автономные транспортные средства, транспортные средства с сетевыми возможностями и автомобили, использующие альтернативные виды топлива. Как следствие, можно ожидать изменения характера глобальных автомобильных рынков, смещения центров прибыли в пользу производителей высокотехнологических компонентов, изменения поведения потребителей, распространения передовых технологий, а также возникновения новых моделей конкуренции и сотрудничества. В статьях [1, с. 681-683; 2, с. 871-873] выявлены возможности и препятствия, которые стимулируют или предотвращают развитие транспорта на альтернативных источниках энергии.

Использование традиционных видов моторного топлива (бензин, дизельное топливо) на автомобильном транспорте в последние годы связано с рядом проблем: ограниченность имеющихся запасов углеводородного сырья; постоянный рост цен на все виды топлива; повсеместное ухудшение экологической обстановки.

Большинство автомобильных концернов мира решение перечисленных проблем видят в применении энергосберегающих технологий и переводе транспорта на электрическую трансмиссию с использованием экологически чистых энергетических установок. Основными эффектами такого подхода являются: уменьшение мощности силовых агрегатов за счет использования кинетической энергии транспортного средства; снижение расхода топлива; снижение вредных выбросов [3, с.32].

Электробус обладает рядом несомненных преимуществ по сравнению с автобусом, оборудованным двигателем внутреннего сгорания, работающим на бензине, дизельном топливе или газе. Он практически бесшумен, прост в управлении, надежен и долговечен. Эксплуатация электробуса обходится гораздо дешевле, чем эксплуатация обычного автобуса с двигателем внутреннего сгорания (ДВС).

На данный момент применяют два основных способа зарядки электробуса: проводной, по принципу троллейбуса, но не требующий постоянного контакта с электросетью для длительной работы; беспроводной, с использованием явления электромагнитной индукции [4].

Основная проблема внедрения электробусов в России - отсутствие зарядной инфраструктуры. Для компенсации ограничений запаса хода электрических транспортных средства необходимо иметь плотную сеть зарядных станций, может быть, в сочетании с возможностью замены батарей. Решению этой проблемы в российских городах будет способствовать сеть тяговых подстанций,

созданных для организации троллейбусного и трамвайного движения.

По сравнению с автобусами, работающими с двигателем внутреннего сгорания, эксплуатационные расходы для электробусов ниже, поскольку реже и дешевле регулярное техническое обслуживание (ТО) подвижного состава ввиду отсутствия необходимости использования таких расходных материалов, как моторные и трансмиссионные масла. Кроме того, использование электробусов приводит к снижению уровня вредных выбросов, повышению комфортности поездок на наземном общественном транспорте за счет снижения уровней шума и вибрации в салоне, наличия новых сервисов для пассажиров (USB-зарядки) и стопроцентной низкопольности без перепадов высоты пола. У электробусов реже техническое обслуживание (ТО).

Электробус объединяет экологичность троллейбуса, автономность и маневренность автобуса. В таблице 1,2 приведено сравнение технических характеристик электробуса и троллейбуса. Электробус сертифицирован по категории М3, это позволяет обычному водителю перевозить пассажиров.

Таблица 1

Основные технические характеристики

Основные параметры	Электробус КАМАЗ 6282	Троллейбус с длительным автономным ходом СТ 6217
Пассажировместимость, чел.	85	111
Технически допустимая максимальная масса, кг	18000	19178
Максимальная конструктивная скорость движения электробуса на горизонтальном участке, км/ч	70	60
Максимальный запас хода на накопителях без подзарядки, км.	70	60
Максимальный преодолеваемый подъем в режиме электробуса, не менее, %	18	8
Время разгона до скорости 60 км/ч, с, не более	30	11
Время зарядки бортовым зарядным устройством от трехфазной сети 380 В, часов, не более	12	
Время ультрабыстрой зарядки с помощью токоприёмника (при токе зарядки 480 А), минут, не более	30	
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/100 км, не более	53/100	1,8 /100

Таблица 2
Сравнение основных частей электробуса и троллейбуса

Электробус КАМАЗ 6282		Троллейбус с длительным автономным ходом СТ 6217
Агрегаты и системы	Технические характеристики	
Двигатель	Два асинхронных электродвигателя мощностью 125 кВт каждый	асинхронный АТЧД-250-4У2
Тяговый инвентор	С векторным управлением и функцией рекуперации, 300 кВт	ИРБИ АТ1 – 280У2 (СРЗЕ-CAN2)
Накопитель энергии	Литий-титановые аккумуляторы, 70,4 кВт.ч	Литий-ионные аккумуляторы “Лиотех”
Тормозная система	пневматическая, с электрическим компрессором, который поддерживает давление в контурах тормозной системы	Электропневматическая
Система отопления	Жидкостная, с дизельным подогревателем Webasto	Электрокалориферы/Webasto

Для отопления салона используется обычный жидкостный контур с дизельным подогревателем Webasto (аналогичное решение используется для подогрева аккумуляторов). Новый электробус КАМАЗ 6282 имеет накрышную климатическую установку (Eberspaecher AC-515). Вместо двигателя внутреннего сгорания используется электропортальный мост ZF AVE130 с двумя асинхронными бортовыми мотор-редукторами мощностью по 125 кВт каждый. В моторном отсеке — винтовой компрессор, ресиверы и высоковольтные инверторы.

Как видно из приведенного сравнения, электробусы имеют ряд преимуществ. В то же время, следует учитывать, что при их эксплуатации появляется ряд проблем, обусловленных конструктивными особенностями, которые могут вызвать негативные последствия с точки зрения безопасности дорожного движения.

В Москве электробусы КАМАЗ обслуживаются по контракту жизненного цикла, что предусматривает сервисное сопровождение и ремонт электробусов на определенный промежуток времени. Техническое обслуживание является профилактическим мероприятием, проводимым в плановом порядке и предназначено для поддержания электробуса КАМАЗ-6282 в исправном состоянии. Оно включает техническое обслуживание в начальный период эксплуатации и в основной период эксплуатации.

В начальный период эксплуатации электробуса выполняются: ежедневное техническое обслуживание (ЕТО); еженедельное техническое обслуживание (НТО); разовое техническое обслуживание ТО-2500.

Ежедневное техническое обслуживание электробуса выполняется водителем раз в сутки перед выездом (часть работ) и по возвращении с линии. На стоянках после длительного движения также необходимо проверить техническое состояние в объеме ЕТО. Ежедневное техническое обслуживание (НТО) выполняется водителем 1 раз в неделю. Допускается выполнение НТО сервисным центром по заявке владельца транспортного средства. ТО-2500 выполняется сервисным центром

один раз в начальный период эксплуатации в интервале первых 1000-5000 км пробега. Периодичность технического обслуживания 30000 км.

Ежедневное обслуживание электробусов заключается в проверке масла в гидроусилителе руля и компрессоре пневмосистемы, обязательном контроле уровня жидкостей в системе отопления салона и контуре охлаждения электродвигателей (рис.1).

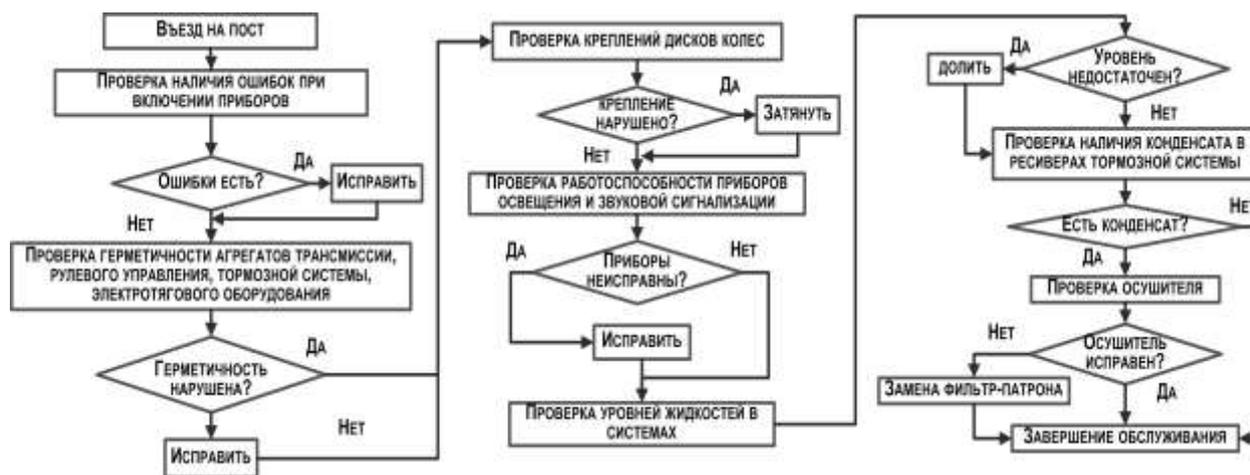


Рис. 1. Технологический процесс ежедневного технического обслуживания

В автобусном парке необходима организация поста обслуживания электробусов, поскольку электрооборудование, ходовая часть, кузов и иные системы обслуживаются в соответствии с регламентом завода-производителя. Батарея электробуса является электронно-управляемым накопителем энергии, требующим регулярного контроля в составе электрооборудования системы электродвижения транспорта, хотя и не нуждается в специальном техническом обслуживании.

Расчетный срок эксплуатации одного комплекта литий-ионных аккумуляторов - до 500 тыс. км пробега. Электробус имеет увеличенный, по сравнению с традиционными видами транспорта, ресурс тормозных накладок, поскольку замедление в значительной части цикла торможения обеспечивается за счет электромагнитного торможения (в данном цикле обеспечивается рекуперация энергии).

Электробус имеет бортовые зарядные устройства (установлены непосредственно в самом электробусе) и станции ультрабыстрой зарядки (устанавливаются на маршруте/на конечных станциях).

Станция ультрабыстрой подзарядки подключается к промышленной трехфазной сети переменного тока, либо напрямую к троллейбусной линии. В дополнение к ультрабыстрой зарядке используется бортовое зарядное устройство, позволяющее заряжать накопитель от обычной трехфазной сети («ночная зарядка»). Бортовое

зарядное устройство предназначено для зарядки накопителя энергии от трёхфазной сети переменного тока. Силовой разъем для подключения силового кабеля для зарядки расположен в задней части электробуса под задней крышкой. Электробус оснащен бортовым зарядным устройством, состоящим из 6 модулей.

Станция ультрабыстрой зарядки (производитель DRIVE electro, предназначена для зарядки литий-ионных аккумуляторных батарей электробусов с рабочим диапазоном напряжения 250...600В. Изделие имеет гальваническую изоляцию от питающей сети. Антивандальное конструктивное исполнение позволяет устанавливать зарядную станцию на конечных остановках автобусного маршрута.

Мировые тренды свидетельствуют о мерах, предпринимаемых для обеспечения перехода к экологичным видам транспорта, в то же время, в России, на сегодняшний день, бензин и дизель фактически остаются монопольными видами моторного топлива. Несмотря на экономические и экологические преимущества электробусов перед обычными автобусами, последние все еще являются основной составляющей наземного городского пассажирского транспорта во всем мире. Выбор типа электробуса и способа обеспечения его энергией сугубо индивидуален для каждой страны, поскольку требует учета специфических факторов, таких как природно-климатические условия и характеристики энергосистемы. Проблемой во

многих странах может стать еще и утилизация отработавших свой срок аккумуляторов, поскольку далеко не везде имеются заводы для этих целей. Для эффективной работы электробусов необходимо наличие зарядной инфраструктуры и специальных пунктов обслуживания, что невозможно без поддержки государства. Эксплуатация электробусов требует обеспечения доступной и надежной зарядной инфраструктуры.

Литература

1. Van der Straten, P. Enablers and Barriers to the Adoption of Alternately Powered Buses. / P, Van der Straten, , B.W. Wiegman, A.B. Schelling, // Transport Reviews – 2007. – Vol. 27. – No. 6. – P. 679–698.
2. Gabsalikhova, L.M. The prospects of use of alternative types of fuel in road transport. / L.M. Gabsalikhova, G.R. Sadygova, I.V. Makarova, E.M. Mukhametdinov (2017) // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 9. – No. 2S – P. 869-879.
3. Pandia. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/77/212/93525.php> (дата обращения: 06.01.2018)
4. Иванов, О.Н. Исследование технических характеристик электробусов, как перспективных видов наземного пассажирского транспорта / О.Н. Иванов., Н.О. Листов, А.В. Остроух // Международный журнал перспективных исследований. – 2017. – № 4-2. – Т. 7. – С. 29-48.

References

1. Van der Straten, P. Enablers and Barriers to the Adoption of Alternately Powered Buses. / P, Van der Straten, , B.W. Wiegman, A.B. Schelling, // Transport Reviews – 2007. – Vol. 27. – No. 6. – P. 679–698.
2. Gabsalikhova, L.M. The prospects of use of alternative types of fuel in road transport. / L.M. Gabsalikhova, G.R. Sadygova, I.V. Makarova, E.M. Mukhametdinov (2017) // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 9. – No. 2S – P. 869-879.
3. Pandia. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/77/212/93525.php> (дата обращения: 06.01.2018)
4. Ivanov, O.N. Issledovanie tekhnicheskikh harakteristik elektrobusev, kak perspektivnykh vidov nazemnogo passazhirskogo transporta / O.N. Ivanov., N.O. Listov, A.V. Ostrouh // Mezhdunarodnyj zhurnal perspektivnykh issledovanij. – 2017. – № 4-2. – Т. 7. – С. 29-48.

Makarova I.V., Moukhametdinov E.M., Gabsalikhova L.M.,

SERVICE OF ENERGY EFFICIENT VEHICLES

The article is devoted to the issues of energy efficiency of vehicles. The main problems of introduction of electric buses in Russia are considered. Comparison of the main parts of the electric bus and trolleybus is given. The technological process of daily maintenance of the electric bus was developed.

Key words: energy efficiency, service, environmental friendliness

Макарова Ирина Викторовна, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.
E-mail: kamIVM@mail.ru

Makarova Irina Viktorovna, Doctor (Tech.), Professor, Professor of the Department "Service of transport systems", Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny
E-mail: kamIVM@mail.ru

Мухаметдинов Эдуард Мухаматзакиевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.
E-mail: funte@mail.ru

Mukhametdinov Eduard Muhamatzakievich, Ph.D. (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department "Service of transport system", Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny
E-mail: funte@mail.ru

Габсалихова Лариса Мухаматзакиевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.
E-mail: muhametdinoval@mail.ru

Gabsalikhova Larisa Muhamatzakievna, , Ph.D. (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department "Service of transport systems", Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny
E-mail: muhametdinoval@mail.ru

Рецензент: Губачева Лариса Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 16.03.2019

УДК 629.11

МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

Макарова И.В., Мухаметдинов Э.М., Габсалихова Л.М., Капитонов А.А.

METHOD OF TECHNICAL SERVICE PLANNING AND VEHICLE REPAIR

Makarova I.V., Mukhametdinov E.M., Gabsalikhova L.M., Kapitonov A.A.

В статье рассматривается один из методов обеспечения заданного уровня технической готовности автомобильного парка. Решение проблемы повышения надежности автотранспортных средств обеспечивается, с одной стороны, автомобильной промышленностью за счет выпуска более надежных автомобилей и их компонентов, с другой – совершенствованием методов их технической эксплуатации. Показатели надежности зависят от методов и условий эксплуатации автомобиля, принятой системы и методов технического обслуживания и ремонта, режимов работы и других эксплуатационных факторов. В статье предлагается метод перспективного планирования технического обслуживания и ремонта автомобилей при заключении контракта жизненного цикла. Выделены источники данных для перспективного планирования технического обслуживания и ремонта. Для этих целей предлагается метод экстраполяции текущих значений показателей технического состояния автомобиля на будущие периоды, с учетом условий и режима его эксплуатации. Разработчик и изготовитель получают возможность анализа статистики о неисправностях и отказах автомобилей для принятия организационных, конструкторских или технологических решений. Предлагаемая методика способствует повышению коэффициента технической готовности автомобильного парка и позволяет управлять его эксплуатацией.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт, автомобильная техника, метод планирования.

Введение. При переходе к Индустрии 4.0 возрастает значимость эффективности системы поддержания транспортных средств в работоспособном состоянии. В то же время, есть определенные сложности организации такой системы, поскольку концепция Индустрии 4.0 предполагает изготовление изделия «под заказчика», что приведет к росту числа модификаций изделий. Классические подходы, при которых производитель автомобилей отвечает за весь жизненный цикл изделия часто являются недостаточно эффективными ввиду того, что владелец не несет ответственности за техническое состояние автомобиля, ввиду чего может

нарушать условия эксплуатации и регламенты обслуживания.

С каждым годом продукция автомобильных заводов претерпевает значительные изменения, она усложняется, как технически, так и программно, и требует тщательной подготовки на производстве и в сети фирменного обслуживания. При этом изменится и концепция сервиса, поскольку производитель будет заинтересован в создании фирменной сервисной сети, посредством которой он сможет реализовать принцип ответственности на свое изделие на протяжении всего жизненного цикла [1].

Это особенно актуально для современных грузовых автомобилей, которые, в отличие от легковых, практически невозможно обслуживать в небольших автомастерских. Кроме того, благодаря наличию собственной системы сервиса будет доступна вся информация об особенностях эксплуатации, технического обслуживания и ремонта как конкретного автомобиля, так и всего парка (рис. 1).

Одним из инструментов взаимодействия производителя и владельца автомобиля может быть контракт жизненного цикла (КЖЦ). В настоящее время КЖЦ рассматривается как вариант государственно-частного партнерства. Это долгосрочное соглашение, в рамках которого исполнитель обязуется осуществить закупку товара или проектирование, строительство, ремонт, эксплуатацию, утилизацию (при необходимости), то есть обслуживание объекта закупки, а государство ему за это платит. Подобные случаи, как правило, относятся к инфраструктурным объектам, в частности к автодорогам, мостам, тоннелям и т.п., но также такие правила применяют, когда приобретают транспортные средства для общественного пользования (вагоны метро, автобусы и т. д.); воздушные, морские и речные суда. На наш взгляд, похожий вариант партнерства можно применить и для взаимодействия между владельцами крупных логистических компаний и производителем автотранспортных средств. В этом случае контракт

будет заключаться между двумя сторонами: владельцем, который приобретает автомобиль, и производителем, в обязанности которого входит поддержание автомобиля в технически исправном состоянии в течение его жизненного цикла.

Заключение КЖЦ позволит передать часть рисков владельцу, который будет заинтересован в выполнении регламентов и норм эксплуатации, что снизит вероятность части рисков.



Рис. 1. Единая информационная среда поддержки этапа эксплуатации ЖЦ автомобиля

Разработка метода перспективного планирования технического обслуживания и ремонта автомобильной техники при заключении КЖЦ является актуальной задачей.

Состояние проблемы. КЖЦ в мировой практике хорошо зарекомендовал себя в ряде отраслей. В РФ успешным примером КЖЦ является эксплуатация железнодорожных составов. Это позволяет владельцу сконцентрироваться лишь на мониторинге параметров эксплуатации объекта и контроле достижения заданных целевых показателей. Так, авторы работы [1] представили модель жизненного цикла для оценки стоимости жизненного цикла железнодорожного транспортного средства. Предложенная авторами модель ориентирована на расчет стратегий обслуживания. Схема КЖЦ широко используется в области транспортной инфраструктуры. КЖЦ часто реализуется в рамках государственно-частного партнерства (ГЧП). Вопросы развития анализируются в статьях [2 - 4]. Автор статьи [2] рассматривает сильные и слабые стороны ГЧП и перспективы его развития. Автор статьи [3] делает вывод, что для некоторых видов общественных товаров и услуг партнерские отношения могут быть не самым подходящим средством, поэтому их следует применять преимущественно к тем социальным проблемам, которые требуют особых преимуществ партнерства. Автор статьи [4] подчеркивает важность взаимодействия между партнерами, без которого общественные и частные стороны не смогут прийти к общему пониманию, не смогут внести свой вклад в обогащение содержания проекта и не смогут развить

взаимное доверие. В статье [5] приводится обоснование для привлечения частного участия в развивающихся странах. Автор определяет критические факторы успеха и требования политики для успешной реализации ГЧП. Результаты исследования [6] могут служить источником информации о формировании мотивации частного сектора для участия в ГЧП.

В статье [7] анализируется роль государственно-частного партнерства в управлении транспортом на примере совместного использования автомобилей. Авторы статьи [8] рассматривают вопросы ценообразования на основе предельной социальной стоимости, анализируют недостатки и преимущества разных вариантов ГЧП. Авторы книги [9] указывают, что, хотя государственно-частное партнерство (ГЧП) использовалось для предоставления транспортных проектов и услуг, но исследования по этому вопросу носят фрагментарный характер. ГЧП представляют собой сложные механизмы, которые требуют междисциплинарного подхода для обеспечения их успеха. В статье [10] анализируются факторы успехов и неудач трех высокопрофильных транспортных проектов ГЧП, а именно: концессионный проект по платной дороге в Лекки (Нигерия), платная дорога N4 (Южная Африка / Мозамбик) и порт Мапуту (Мозамбик) в целях разработки мер политики для эффективной будущей реализации. Информация, изложенная в статье [11], показывает, что использование модели КЖЦ в рамках договоров поставки и обслуживания подвижного состава общественного транспорта позволяет обеспечить город транспортными средствами нового поколения

повышенной комфортности и безопасности, получить дополнительные гарантии надежности и соблюдения графика движения, сохранить высокие потребительские свойства подвижного состава на протяжении всего срока его эксплуатации.

От того, насколько осознаны риски, и в какой степени решена проблема распределения ответственности за них, будет зависеть успешность проекта. В работах [12, 13, 14] рассмотрена природа

передачи риска при ГЧП, поскольку это связано с большими финансовыми средствами и большой продолжительностью контракта. Статья [15] определяет методы управления, которые помогают или препятствуют согласованию участия частного сектора в городских инфраструктурных проектах для повышения устойчивости городской окружающей среды.



Рис. 2. Классификация рисков в автомобильной отрасли

Возможность применения КЖЦ в автомобильной отрасли, при планировании технического обслуживания и ремонта автомобильной техники, должна изучаться, опираясь на опыт в других сферах деятельности, в частности, в железнодорожных перевозках, строительстве дорог и других инфраструктурных проектах

1. Гипотезы и методы

1.1. Классификация рисков

Анализ рисков подразумевает анализ вероятности того, что определенные нежелательные события произойдут и отрицательно повлияют на достижение целей. Он включает оценку рисков и методы их снижения или уменьшения связанных с ними неблагоприятных последствий. Оценка рисков - это определение количественным или качественным способом величины (степени) рисков. Поскольку автомобиль относится к классу наукоемкой и высокотехнологичной продукции, а его эксплуатация связана с риском потери работоспособности, что может привести к гибели людей, то на всем протяжении эксплуатации необходимо контролировать его техническое состояние. Поэтому стадия «эксплуатация» включает в себя две составляющие: «коммерческая эксплуатация» (осуществление перевозочного процесса) и «техническая эксплуатация» (по сути - сервисное сопровождение, т.е. поддержание работоспособности). Эти две составляющие неразрывно связаны, поскольку коммерческая эксплуатация обеспечивается качественной технической эксплуатацией (рисунок 2).

В контексте КЖЦ такой подход разделяет ответственность по управлению рисками между

владельцем, отвечающим за коммерческую эксплуатацию и производителем, отвечающим за техническую эксплуатацию. Соответственно, каждая из сторон управляет соответствующими видами рисков.

При этом необходимо учитывать возможные риски, связанные с функционированием системы сервиса автотехники, включающей большое количество различных процессов, поскольку производитель инвестирует средства для создания такой системы и заинтересован в оптимальном режиме ее деятельности.

В то же время, система фирменного сервиса является сложной системой, которой, присущи риски, характерные для производственных предприятий. Причем специфика системы фирменного сервиса в том, что в отличие от производства, где процессы являются детерминированными, для сервиса характерен нестационарный спрос на услуги, поэтому параметры процесса являются стохастическими, что обуславливает дополнительные риски, порождаемые нестационарностью спроса, вызывающей неравномерность загрузки постов [16, 17, 18]

Важно понимать, что все виды рисков в той или иной степени связаны между собой и возникновение одного из их видов может оказать негативное воздействие на деятельность связанных с ним подсистем. К примеру, уменьшение или обновление парка автотехники отрицательно повлияет на потребность в запасных частях, сервисных услугах, что в свою очередь приведет в недозагрузке постов, персонала и оборудования.

Производственный риск вызывается сбоями в функционировании производственной системы. Это нарушения в работе любой из подсистем сервисного предприятия: снижение объемов услуг по техническому обслуживанию и ремонту, нарушение в системе поставок и т.п. Технологический риск обусловлен неправильно выбранной технологией обслуживания и ремонта. Под инвестиционным риском понимается риск, связанный с вложением инвестиций. Инновационный риск — это вероятность потерь, возникающих при вложении средств в производство новых услуг, которые, возможно, не найдут ожидаемого спроса на рынке.

Риск потери клиента возникает при снижении лояльности клиента (некачественное обслуживание). Криминальный риск связан с рисковыми ситуациями, влияющими на здоровье и жизнь человека: при эксплуатации автомобиля это так называемый риск преждевременных отказов, при оказании сервисных услуг — риск, связанный с нарушениями технологии производства работ. Финансовый риск связан со спецификой вложения денежных средств в различные проекты.

Технический риск определяется степенью организации производства, проведением превентивных мероприятий (регулярной профилактики оборудования, мер безопасности), возможностью проведения ремонта оборудования собственными силами фирмы.

Технические риски можно определить как вероятность потерь:

- вследствие отрицательных результатов научно-исследовательских работ;
- в результате недостижения запланированных технических параметров в ходе конструкторских и технологических разработок;
- в результате низких технологических возможностей производства, что не позволяет освоить результаты новых разработок;
- в результате возникновения при использовании новых технологий и продуктов побочных или отсроченных во времени проявления проблем;
- в результате сбоев и поломки оборудования и т.д.

Технический риск относят к группе внутренних рисков, поскольку на данные риски предприятие может оказывать непосредственное влияние, а их возникновение, как правило, зависит от деятельности самого предприятия.

1.2. Гипотезы и подходы при разработке методики

Методика перспективного планирования технического обслуживания и текущего ремонта (ТО и ТР) автомобильной техники разрабатывается для реализации возможности формирования на заданный горизонт планирования плана-графика ТО и ТР, который позволит спрогнозировать и оценить объемы возможных сервисных и ремонтных работ, исходя из прогнозируемого технического состояния парка автомобильной техники и возможных рисков.

Методологически перспективное планирование технического обслуживания и ремонта автомобильной техники сходно с прогнозированием технического состояния, поэтому состав источников данных во многом аналогичен:

- перспективный план эксплуатации автотранспортного парка;
- текущие значения показателей наработки образцов автомобилей и их составных частей;
- ресурс по наработке до определенного технического воздействия;
- планируемая наработка за определенной период, установленная изготовителем автомобилей для эталонной группы эксплуатации;
- коэффициент, отражающий интенсивность увеличения наработки при использовании в прочих категориях (группах) эксплуатации;
- сезонные коэффициенты, влияющие на интенсивность эксплуатации;
- вероятность оказания внеплановых технических воздействий на автотранспортные средства;
- данные с бортовых диагностических систем при их наличии.

Перспективный план эксплуатации автотранспортных средств позволяет определить видо-возрастную структуру парка автомобилей для которой выполняется перспективное планирование, а также кластеризовать на группы парк автомобилей на весь планируемый период эксплуатации с учетом расширения и обновления.

Текущие значения показателей наработки автомобилей и их составных частей будут вводиться в систему, обеспечивающую информационное сопровождение процессов технического обслуживания и ремонта, с помощью специализированных средств либо вручную, с учетом показаний с бортовых диагностических систем, либо автоматически, путем интеграции с системой объективного контроля.

Планируемая наработка за определенный период определяется изготовителем автотранспортных средств на основе статистических данных для каждой эталонной категории (группы) эксплуатации, и указывается в соответствующей конструкторско-технологической документации. В систему, обеспечивающую информационное сопровождение процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей, информация передается с помощью системы интегрированной логистической поддержки.

Коэффициенты, отражающие интенсивность увеличения наработки при использовании автомобилей прочих категорий (групп) эксплуатации, сезонные коэффициенты, а также значения вероятности осуществления внеплановых технических воздействий, относятся к нормативно-справочной информации хозяйственно-экономического характера. Нормативно-правовая база и регламент ведения указанных источников

данных должны быть разработаны и утверждены исполнителем и заказчиком контракта на сопровождение жизненного цикла автомобилей в соответствии с законодательством государства.

2. Результаты исследований

2.1 Метод перспективного планирования технического обслуживания и ремонта автомобильной техники

Для выполнения перспективного планирования технического обслуживания и ремонта автомобильной техники предлагается использовать метод экстраполяции текущих значений показателей технического состояния на будущие периоды, с учетом влияющих факторов, то есть, с учетом условий и режима эксплуатации изделия.

Для повышения эффективности перспективного планирования системы ТО и ТР необходимо учитывать, что различные узлы, агрегаты и системы автомобиля имеют разный ресурс и обладают разной степенью надежности, которая, в свою очередь, зависит от множества факторов, имеющих стохастический характер.

Прогнозирование отказов позволяет заранее предопределять возможные отказы и производить своевременную замену малонадежных элементов. Сбор информации об отказах в условиях эксплуатации дает возможность накопить статистические данные, крайне необходимые при расчете надежности автомобильной техники. Для прогнозирования внезапных отказов при наличии статистических данных о закономерностях их возникновения определяется ориентировочное время наступления отказа и, следовательно, создаются условия для его предотвращения или устранения.

Отказ автомобиля возникает в момент времени $T_{отк}$, который с определенной вероятностью можно спрогнозировать. Как показывает анализ эксплуатационных показателей, интенсивность отказов автомобилей $\lambda(t)$ разделяется на три эксплуатационных этапа:

- Первая часть - это снижение частоты отказов, известное как ранние отказы.
- Вторая часть - это постоянная частота отказов, известная как случайные сбои.
- Третья часть - это увеличение частоты отказов, известное как отказы из-за износа.

В период *приработки* наблюдается повышенная интенсивность отказов, что связано с приработкой деталей и обусловлено, как правило, производственными дефектами. В период штатной эксплуатации отказы носят случайный характер и появляются внезапно, прежде всего, из-за несоблюдения условий эксплуатации, изменений нагрузки, воздействия неблагоприятных внешних факторов и т.п. Третий период характеризуется возрастанием интенсивности отказов, что вызвано старением и другими причинами, связанными с длительной эксплуатацией. Учитывая вышесказанное, обеспечение запасными частями

должно включать в себя функционально различные механизмы. Поскольку гарантийный период характеризуется повышенной интенсивностью отказов, в первую очередь решается вопрос об обеспечении качественного сервиса именно в этот период.

С отказами в период приработки бороться невозможно, поэтому в этот период одним из методов повышения надежности является резервирование. Если есть возможность иметь в системе запасные части, то вероятность того, что на момент отказа будет произведена немедленная замена дефектного узла, существенно увеличивается.

В зависимости от пробега с начала эксплуатации увеличивается не только число отказов, но и трудовые затраты на их ликвидацию, а также затраты, связанные с поддержанием автомобилей в работоспособном состоянии; одновременно происходит уменьшение коэффициентов технической готовности и выпуска, снижаются годовые пробеги и производительность.

Поскольку характер кривой надежности свидетельствует о наличии трех участков, описываемых разными зависимостями, то очевидным является различие причин (или сочетания факторов), вызывающих возникновение отказов. Из этого следует, что долгосрочные прогнозы должны выполняться с учетом видо-возрастной структуры парка, а также статистической информации об отказах. Поэтому механизмы планирования сервиса будут различаться.

Для деталей, узлов, агрегатов и их элементов есть три основных вида причин, вызывающих отказ и соответствующих определенному периоду эксплуатации:

- скрытые дефекты изготовления;
- перегрузка, внешние воздействия;
- износ, старение, расход.

Метод перспективного планирования технического обслуживания и ремонта образцов автомобильной техники и их составных частей можно условно разделить на этапы, соответствующие кривой надежности.

Для начального этапа эксплуатации автомобиля необходимо создать резерв запасных частей, в состав которых должны включаться компоненты, наиболее подверженные отказам в период приработки. Очевидно, что в период приработки, большая часть отказов возникает по причине скрытых дефектов изготовления. Для этого автомобилестроительное предприятие и устанавливает срок гарантийного обслуживания.

Для второго этапа (штатной эксплуатации) отказы в значительной мере зависят от условий эксплуатации, носят стохастический характер и поэтому прогноз потребности в запасных частях осуществляется на основе зависимостей, установленных путем анализа статистической информации.

На третьем этапе сервисная стратегия осуществляется с учетом видо-возрастной структуры парка и показателей надежности, с учетом ресурса для конкретной группы автомобилей, эксплуатирующейся в конкретных условиях. При этом необходимо принимать во внимание целесообразность продолжения эксплуатации автомобиля, учитывая стоимость его ремонтов (как трудоемкость, так и стоимость заменяемых деталей).

Наиболее эффективным методом повышения эксплуатационной надежности автомобилей является прогнозирование технического состояния, т.е. отказов на определенную наработку, а также их предупреждение за счет планирования времени обслуживания, поставок запасных частей по номенклатуре и количеству с учетом условий эксплуатации, климатических условий в конкретном регионе; времени года; типа, модели и комплектации автомобиля.

В задачах прогнозирования отказов автомобилей применяют показатель интенсивности отказов, который связан с функцией надежности $P(t)$ формулой

$$\lambda(t) = -P'(t) / P(t) \tag{1}$$

Статистическую оценку $\tilde{\lambda}(t)$ для интенсивности отказов можно принять в виде

$$\tilde{\lambda}(t) = \frac{n\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) - n\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)}{[N - n(t)\Delta t]} \tag{2}$$

Отрезок времени Δt выбирают так, чтобы он содержал достаточное число значений t_k и был достаточно мал по сравнению с общей продолжительностью испытаний или наблюдений. Чтобы удовлетворить этим противоречивым требованиям, необходимы выборки больших объемов.

Если за начало эксплуатации объектов принять момент окончания приработки, а за предельное состояние – момент окончания периода штатной эксплуатации, то на отрезке эксплуатации можно считать $\lambda = const$, что соответствует прямому участку кривой надежности. В результате получаем:

$$P(t) = \exp[-\lambda t] \tag{3}$$

Математическое ожидание срока службы (ресурса) равно $1/\lambda$ поэтому формулу можно записать в виде

$$P(t) = \exp(-t/t_c), \tag{4}$$

где $t_c = E[T]$.

Рассмотрим для примера процесс эксплуатации агрегат автомобиля эксплуатируют до наступления

отказа, затем заменяют новым из той же партии резервных, доводят его до отказа, заменяют третьим и т.д. Пусть продолжительность времени на замену одного объекта другим мала по сравнению с продолжительностью между последовательными отказами. Опишем процесс с помощью последовательности t_1, t_2, \dots моментов наступления отказов. Поскольку время между отказами – случайная величина, эта последовательность представляет собой поток случайных событий. Дополнение до единицы функции распределения времени между соседними событиями совпадает с вероятностью безотказной работы $P(t)$. Если по условию эта вероятность не зависит от номера события в потоке, то поток является стационарным, рекуррентным и марковским. Если функция надежности $P(t)$ имеет вид (4), то поток случайных событий – пуассоновский. Вероятность наступления k отказов на отрезке $[0, t]$ следует закону Пуассона

$$Q_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \exp(1 - \lambda t) \quad k = (0, 1, \dots) \tag{5}$$

При $k=0$ получаем $Q_0(t) \equiv P(t)$.

Модели случайных потоков отказов находят широкое применение в теории надежности. Наряду с потоками отказов вводят потоки восстановлений, операций технического обслуживания и т.д. Поскольку в системной теории надежности принято, что число возможных состояний элементов и систем конечно, то модели случайных потоков отказов с конечным множеством значений служат удобным аппаратом для описания объектов в условиях технического обслуживания и восстановления.

Имея данные по остаточным ресурсам t_{pec} , рассчитанные на основе вероятности отказов $P(t)$, можно определить вероятную дату отказа для любого узла, агрегата и системы:

$$T_{омк} = T_n + t_{pec}, \tag{6}$$

где T_n - дата начала упреждения прогнозируемого отказа.

Поскольку техническое состояние АТ У изменяется плавно (постепенно) во времени t , то важным условием ремонта является замена изношенных деталей на новые тогда, когда техническое состояние будет максимально близко к Y_{np} (в момент времени, близкий к $T_{омк}$)

Метод перспективного планирования технического обслуживания и ремонта, предлагаемый к реализации в системе, предполагает определенную опциональность – более жесткий подход к планированию, когда технические воздействия на автомобиль и его составные части планируются в определенные сроки, но носят рекомендательный характер, либо более мягкий, когда технические воздействия на автомобиль и его

составные части планируются только тогда, когда воздействие обязательно, т.е. осуществляются работы по техническому состоянию.

Текущее значение показателя наработки (пробег) передается с бортовой системы автомобиля или системы его дистанционного контроля.

Расчет этого значения производится следующим образом:

$$B'_{ijk} = R_{ik} - \Delta A_{ij} * C_j \text{ если } A_{ij} = 0 \quad (7)$$

или:

$$B'_{ijk} = R_{ik} - \Delta A_{ij} * C_j \text{ если } A_{ij} \neq 0 \quad (8)$$

где B'_{ijk} – текущее значение наработки i по изделию j , остающееся (без учета корректирующих коэффициентов) до регламентного воздействия k .

R_{ik} – регламентированное изготовителем значение наработки i для вида обслуживания k ;

$\Delta A_{ij} = A'_{ij} - A_{ij}$ – это разница между текущим и предыдущим значениями наработки i по изделию j ;

A'_{ij} – текущее (фактическое) значение показателя наработки i по изделию j ;

A_{ij} – предыдущее значение показателя наработки i по изделию j ;

C_j – сводный корректирующий коэффициент по изделию j , отражающий интенсивность эксплуатации ($C_j = C_{j1} * C_{j2} * \dots$, где C_{j1} – коэффициент категорий эксплуатации, C_{j2} – сезонный коэффициент, и т.д.);

B_{ijk} – ранее рассчитанное значение наработки i по изделию j , остающееся (без учета корректирующих коэффициентов) до вида регламентированных технических воздействий k

Расчет прогнозируемого увеличения наработки проводится с учетом параметров:

- наработки за определённый период (квант) времени, установленной изготовителем для эталонных условий эксплуатации;
- коэффициента категории условий эксплуатации;
- сезонных коэффициентов.

На оси времени с учетом предыдущих воздействий определяются интервалы, в которых прогнозируемое значение ресурса таково, что:

- техническое воздействие рекомендуется, но не обязательно;
- техническое воздействие обязательно.

Расчет прогнозного значения наработки i по изделию j до регламентного обслуживания k в планируемом периоде l :

$$D_{ijki} = B'_{ijk} - P_{iji} * C_j, \quad (9)$$

полученное значение D_{ijki} анализируется если

$$D_{ijki} \leq F_{ijk} \quad (10)$$

P_{iji} – планируемое увеличение наработки i по изделию j в периоде l (т.е. план эксплуатации);

F_{ijk} – пороговое значение наработки i по изделию j для вида технических обслуживания k . Оно отражает допустимый интервал обслуживания (задается изготовителем в сервисной книжке, например, для автомобилей КАМАЗ экологического уровня ЕВРО-2 для ТО-15000 по пробегу это значение 15000 км, т.е. ТО допускается проводить в интервале от 13500 до 16500 км);

В результате будут определены:

период l , на который запланировано техническое обслуживание;

прогнозный показатель наработки в данном периоде D_{ijki} .

Каждый новый расчет периода, на который нужно запланировать следующее техническое воздействие, как и расчет прогнозного значения наработки в нем повторяется до тех пор, пока не будет достигнут горизонт планирования L , представляющий из себя вектор значений l .

$$D_{ijki+1} = D_{ijki} - P_{iji+1} * C_j \quad (11)$$

Предложенный метод работает обособленно и параллельно:

- для каждого образца АТ или его составной части;
- по каждому показателю наработки;
- по каждой группе видов технических воздействий (взаимоисключающие технические воздействия, т.е. если проведение одного воздействия исключает проведение другого, оно становится возможным лишь по достижении следующего рубежа по наработке).

2.2. Пример расчета гарантийных затрат

Для обеспечения возможности осуществления оперативной оценки риска предприятия по гарантии была установлена функциональная зависимость значения риска от гарантийной наработки и суммы отчислений в гарантийный фонд предприятия в % от стоимости автомобиля.

Решение задачи осуществлялось на основе данных по отказам автомобилей КАМАЗ, эксплуатировавшихся в странах ближнего и дальнего зарубежья (всего был проведен анализ по 28 странам). В силу того, что в каждой стране автомобили закупаются партиями и для определенного вида работ (строительство, сельское хозяйство, коммунальное хозяйство и т.д.) т.е. эксплуатируются в одинаковых условиях, а также организация и уровень качества сервисных услуг в

среднем по стране однородны, в качестве значений по затратам на гарантийное обслуживание были использованы средние значения по стране.

$$P = 7,4 \cdot 10^{-12} \cdot t^2 + 0,76 \cdot C_{\%}^2 - 4,6 \cdot 10^{-7} \cdot C_{\%} \cdot t - 1,78 \cdot C_{\%} + 3,8 \cdot 10^{-7} \cdot t + 1, \quad (12)$$

где t - наработка, км;

$C_{\%}$ - процент отчислений в гарантийный фонд предприятия от стоимости автомобиля.

Анализ статистических данных в пакете STATISTICA позволил выявить (табл. 1) узлы и агрегаты автомобильной техники, на которые приходится наибольшее число отказов. Относительное число отказов представлено в таблице 2.

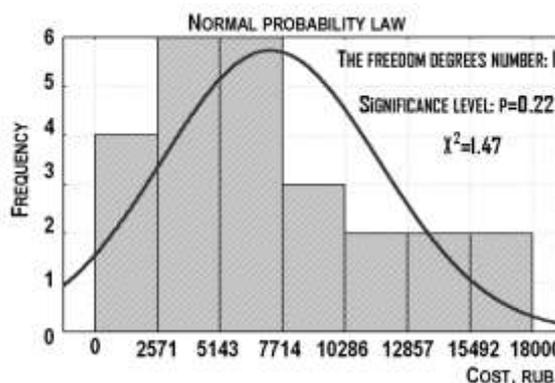


Рис. 3. Частота распределения затрат на гарантийный ремонт при наработке 70 тыс. км

Таблица 1

Статистика наиболее часто встречающихся отказов

Узлы и агрегаты автомобиля	* абсолютное значение, ** приведенное значение	ПРОБЕГ, км							
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-85
		число отказов							
Двигатель	*	132	115	112	86	75	52	26	22
	**	0,22	0,17	0,16	0,15	0,10	0,20	0,09	0,07
Коробка передач	*	90	58	42	37	21	19	14	9
	**	0,31	0,18	0,15	0,14	0,13	0,12	0,10	0,07
Электрооборудование и приборы	*	116	102	95	83	57	38	24	15
	**	0,22	0,21	0,20	0,17	0,14	0,13	0,10	0,06
Сцепление	*	52	34	29	25	19	15	12	9
	**	0,27	0,20	0,19	0,17	0,14	0,13	0,12	0,07

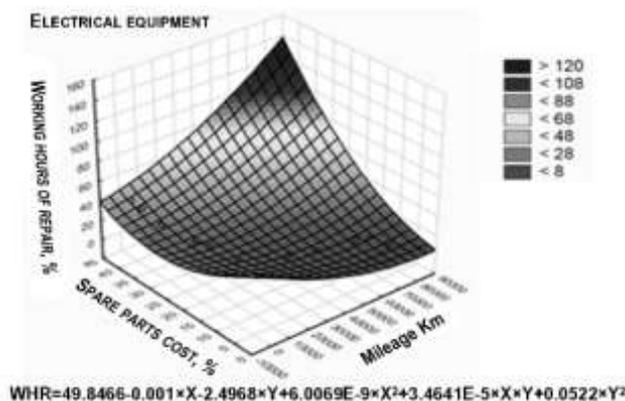


Рис. 4. Поверхность затрат на замену отказавшего электрооборудования в период приработки

Таблица 2.

Относительное число отказов по узлам и агрегатам

Наименование узла, агрегата	Общее число отказов	% отказов от числа реализованных АТ
Электрооборудование	530	35,3
Двигатель	610	40,6
Коробка передач	290	19,3
Сцепление	195	13

Чтобы определить стоимость замены детали-узла, выявим закономерность цены детали-узла, трудоёмкость ее устранения и пробег, на котором произошел данный отказ (табл. 3). В качестве объекта исследования была выбрана система электрооборудования (рис. 2).

Таблица 3.

Распределение затрат и трудоёмкости относительно пробега системы электрооборудования

Пробег, км	Затраты на зч, %	Трудоёмкость устранения отказов, %
0-1500	42,2	37,7
1500-2500	39,3	35
2500-5500	35	24,6
5500-9500	27	21,1
9500-12500	24,7	19
12500-14500	17	17
14500-20500	19	15,9
20500-26500	15,9	14,3
26500-35500	14,1	12,8
35500-48000	12,5	11,6
48000-68000	11	10,7
68000-72500	9,8	10,5
72500-75500	6,5	9,6
80000	3,2	5,4

Выводы. Система, обеспечивающая информационное сопровождение процессов сопровождения автомобильной техники реализует механизм обратной связи. В электронных паспортах автомобильной техники будет накапливаться полная информация о процессе ее эксплуатации, в том числе, о неисправностях, выходах из строя тех или иных деталей, агрегатов и систем. Разработчик и изготовитель получают возможность анализа этой статистики для принятия организационного, конструкторского или технологического решения. А именно: об изменении конструкции или технологии, предъявлении претензий поставщику или изготовителю автокомпонентов.

Данный механизм позволяет выявить факторы, вызывающие снижение значения коэффициента технической готовности, с тем, чтобы, оказывая на них влияние, добиваться повышения коэффициента до требуемого уровня.

Каждый из участников процесса обеспечения ЖЦ автомобилей сможет оперативно получать требуемую информацию. Эксплуатирующая организация сможет оценить состояние и ресурс каждого образца автомобильной техники, сервисная организация получит доступ к ремонтной документации при проведении технического

обслуживания и ремонта, изготовитель сможет собирать статистическую информацию по сервисному сопровождению.

Предложенный метод перспективного планирования технического обслуживания и ремонта позволит предотвращать внезапные отказы в периоды между плановыми техническими обслуживаниями.

Литература

1. Индустрия 4.0. URL: <http://www.up-pro.ru/library/opinion/industriya-4.0.html> (дата обращения: 10.12.2017).
2. T. Bovaird. "Public-Private Partnerships: from Contested Concepts to Prevalent Practice", *International Review of Administrative Sciences*, vol. 70, issue 2, p.p. 199-215, 2004.
3. D.W. Brinkerhoff, J. M. Brinkerhoff, "Public-private partnerships: Perspectives on purposes, publicness, and good governance", *Public-Private Partnerships: Familiar Ground, Fresh Perspectives*, vol. 31, issue 1, p.p. 2-14, 2011.
4. J.J.F.M. Koppenjan, "The Formation of Public-Private Partnerships: Lessons from Nine Transport Infrastructure Projects in The Netherlands", *Public Administration*, pp. 135-157, 2005.
5. D. Jamali, "Success and failure mechanisms of public private partnerships (PPPs) in developing countries: Insights from the Lebanese context", *International Journal of Public Sector Management*, vol. 17, issue: 5, pp.414-430, 2004.
6. X.Ye; S. Shi; H-Y Chong, X. Fu, L. Liu, Q. He, "Empirical Analysis of Firms' Willingness to Participate in Infrastructure PPP Projects", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 144, issue 1, 2018.
7. R. Dowling, J. Kent, "Practice and public-private partnerships in sustainable transport governance: The case of car sharing in Sydney, Australia", *Transport Policy*, vol. 40, pp. 58-64, 2015.
8. E. Evenhuis, R. Vickerman, "Transport pricing and Public-Private Partnerships in theory: Issues and Suggestions", *Research in Transportation Economics*, vol. 30, issue 1, pp. 6-14, 2010.
9. *Public Private Partnerships in Transport: Trends and Theory*, Edited by Athena Roumboutsos, p 372, ISBN 978-1-138-89816-5 (hbk), 2015
10. R. Osei – Kyei, A. P.C. Chan, "Developing Transport Infrastructure in Sub-Saharan Africa through Public-Private Partnerships: Policy Practice and Implications", *Transport Reviews*, vol 36, issue 2, pp. 170-186, 2016.
11. V.V. Turgeneva, V.D.Sekerin, "Life cycle contract" in the field of Transport Infrastructure - the New Public-Private Partnership Mechanism", *MIR [World] (Modernization. Innovation. Research)*, vol 8, issue 4 (32), pp. 536-543, 2017.
12. G.A. Hodge, "The risky business of public-private partnerships", *Australian Journal of Public Administration*, vol. 63, issue 4, pp. 37-49, 2004.
13. L.Y. Shen, A. Platten, X.P.Dengc, "Role of public private partnerships to manage risks in public sector projects in Hong Kong", *International Journal of Project Management*, vol. 24, Issue 7, pp. 587-594, 2006.
14. F.Medda, "A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships", *International Journal of Project Management*, vol. 25, Issue 3, pp. 213-218, 2007.

15. F.M. Koppenjan, B. Enserink. "Public-Private Partnerships in Urban Infrastructures: Reconciling Private Sector Participation and Sustainability", *Public Administration Review*, vol.69, issue 2, pp 284-296, 2009.

16. Makarova, I.; Khabibullin, R.; Belyaev, E.; et al. Improving the logistical processes in corporate service system. - *Transport Problems Volume: 11 Issue: 1 Pages: 5-18*

17. Belyaev, E. I.; Khabibullin, R. G.; Makarova, I. V. Optimization of the Control System of Spare Parts Delivery to Improve the Automotive Engineering Warranty Service Quality under the Operating Conditions Abroad. Third Forum of Young Researchers: in the Framework of International Forum Education Quality - 2012 Pages: 194-202 Published: 2012

18. Makarova, I.; Khabibullin, R.; Buyvol, P.; et al. System approach at risk management of the autoservice enterprise. *Transport Problems Volume: 8 Issue: 4 Pages: 5-16* 2013.

References

1. Industriya 4.0. URL: <http://www.up-pro.ru/library/opinion/industriya-4.0.html> (data obrashcheniya: 10.03.2019).

2. T. Bovaird. "Public-Private Partnerships: from Contested Concepts to Prevalent Practice", *International Review of Administrative Sciences*, vol. 70, issue 2, p.p. 199-215, 2004.

3. D.W. Brinkerhoff, J. M. Brinkerhoff, "Public-private partnerships: Perspectives on purposes, publicness, and good governance", *Public-Private Partnerships: Familiar Ground, Fresh Perspectives*, vol. 31, issue 1, p.p. 2-14, 2011.

4. J.J.F.M. Koppenjan, "The Formation of Public-Private Partnerships: Lessons from Nine Transport Infrastructure Projects in The Netherlands", *Public Administration*, pp. 135-157, 2005.

5. D. Jamali, "Success and failure mechanisms of public private partnerships (PPPs) in developing countries: Insights from the Lebanese context", *International Journal of Public Sector Management*, vol. 17, issue: 5, pp.414-430, 2004.

6. X.Ye; S. Shi; H-Y Chong, X. Fu, L. Liu, Q. He, "Empirical Analysis of Firms' Willingness to Participate in Infrastructure PPP Projects", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 144, issue 1, 2018.

7. R. Dowling, J. Kent, "Practice and public-private partnerships in sustainable transport governance: The case of car sharing in Sydney, Australia", *Transport Policy*, vol. 40, pp. 58-64, 2015.

8. E. Evenhuis, R. Vickerman, "Transport pricing and Public-Private Partnerships in theory: Issues and Suggestions", *Research in Transportation Economics*, vol. 30, issue 1, pp. 6-14, 2010.

9. *Public Private Partnerships in Transport: Trends and Theory*, Edited by Athena Roumboutsos, p 372, ISBN 978-1-138-89816-5 (hbk), 2015

10. R. Osei – Kyei, A. P.C. Chan, "Developing Transport Infrastructure in Sub-Saharan Africa through Public-Private Partnerships: Policy Practice and Implications", *Transport Reviews*, vol 36, issue 2, pp. 170-186, 2016.

11. V.V. Turgeneva, V.D.Sekerin, "Life cycle contract" in the field of Transport Infrastructure - the New Public-Private Partnership Mechanism", *MIR [World] (Modernization. Innovation. Research)*, vol 8, issue 4 (32), pp. 536-543, 2017.

12. G.A. Hodge, "The risky business of public-private partnerships", *Australian Journal of Public Administration*, vol. 63, issue 4, pp. 37-49, 2004.

13. L.Y. Shen, A. Platten, X.P.Deng, "Role of public private partnerships to manage risks in public sector projects in Hong Kong", *International Journal of Project Management*, vol. 24, Issue 7, pp. 587-594, 2006.

14. F.Medda, "A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships", *International Journal of Project Management*, vol. 25, Issue 3, pp. 213-218, 2007.

15. F.M. Koppenjan, B. Enserink. "Public-Private Partnerships in Urban Infrastructures: Reconciling Private Sector Participation and Sustainability", *Public Administration Review*, vol.69, issue 2, pp 284-296, 2009.

16. Makarova, I.; Khabibullin, R.; Belyaev, E.; et al. Improving the logistical processes in corporate service system. - *Transport Problems Volume: 11 Issue: 1 Pages: 5-18*

17. Belyaev, E. I.; Khabibullin, R. G.; Makarova, I. V. Optimization of the Control System of Spare Parts Delivery to Improve the Automotive Engineering Warranty Service Quality under the Operating Conditions Abroad. Third Forum of Young Researchers: in the Framework of International Forum Education Quality - 2012 Pages: 194-202 Published: 2012

18. Makarova, I.; Khabibullin, R.; Buyvol, P.; et al. System approach at risk management of the autoservice enterprise. *Transport Problems Volume: 8 Issue: 4 Pages: 5-16* 2013.

Makarova I.V., Mukhametdinov E.M., Gabsalikhova L.M., Kapitonov A.A.

METHOD OF TECHNICAL SERVICE PLANNING AND VEHICLE REPAIR

The article discusses one of the methods to ensure an established vehicle fleet technical readiness level. Solving the problem of improving the motor vehicles reliability, on the one hand, is provided by the automotive industry through the production of more reliable vehicles and their components, on the other hand, by improving the methods of vehicles technical operation. Reliability indicators arise themselves in the vehicle's operation process and depend on methods and conditions of its operation, accepted system and methods of maintenance and repair (M&R), operating modes and other operation factors. This article describes a long-term planning method of vehicles' M&R when concluding the life cycle contract. Data sources for such long-term planning of M&R were identified. For these purposes, it is proposed to use the extrapolation method based on current values of technical condition indicators for future periods, taking into account conditions and product operation modes. The constructor and manufacturer get an opportunity to analyze statistics on vehicles' faults and failures for organizational, design or technological decision-making. The proposed method helps to increase the vehicle fleet's technical readiness ratio and allows to manage its operation.

Keywords: life cycle contract, maintenance and repair, vehicle fleet, planning method.

Макарова Ирина Викторовна, д.т.н, профессор, профессор кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.
E-mail: kamIVM@mail.ru

Makarova Irina Viktorovna, Doctor (Tech.), Professor, Professor of the Department "Service of transport systems", Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny

E-mail: kamIVM@mail.ru

Мухаметдинов Эдуард Мухаматзакиевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.

E-mail: funte@mail.ru

Mukhametdinov Eduard Muhamatzakievich, Ph.D. (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department "Service of transport systems ", Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny

E-mail: funte@mail.ru

Габсалихова Лариса Мухаматзакиевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.

E-mail: muhametdinoval@mail.ru

Gabsalihova Larisa Muhamatzakievna, Ph.D. (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department "Service of transport systems ", Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny

E-mail: muhametdinoval@mail.ru

Капитонов Александр Александрович, начальник конструкторско-технологического отдела качества проектирования продукта и технологий Капитонов А.А., ПАО «КАМАЗ», г.Набережные Челны

Kapitonov Alexandr Alexandrovich, head of design and technology Department of product and technology design quality, PJSC «KAMAZ», Naberezhnye Chelny

Рецензент: Кулаков Александр Тихонович, д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Статья подана: 15.03.2019

УДК 629.11

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДА ПРИ РАСШИРЕНИИ ПАРКА ГАЗОМОТОРНОЙ КОММУНАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Макарова И.В., Мухаметдинов Э.М., Габсалихова Л.М., Садыгова Г.Р.

WAYS TO IMPROVE THE SAFETY AND SUSTAINABILITY OF THE CITY'S TRANSPORT SYSTEM WHILE EXPANDING THE PARK OF NATURAL GAS MUNICIPAL VEHICLES

Makarova I. V., Mukhametdinov E. M., Gabsalikhova L.M., Sadygova G. R.

В настоящее время в парке коммунальной техники растет доля мусоровозов с задней загрузкой. Приведены основные технические характеристики наиболее популярных моделей мусоровозов с задней загрузкой. Перевод автомобилей коммунальных служб на газомоторное топливо позволит снизить объем вредных выбросов в атмосферу и уровень шума в утренние часы от автотехники. Исследования вопросов безопасности автомобилей на компримированном природном подтвердили высокий уровень этой техники, тем не менее, вопросы ее надежности остаются актуальными. Предложенный метод прогнозирования возможных отказов и планирования сервиса, а также прогнозирование условий эксплуатации, позволит учитывать перспективы расширения парка газомоторной автотехники и пути снижения нагрузки на окружающую среду.

Ключевые слова: газомоторные автомобили-мусоровозы, выбросы, экологическая безопасность

Введение. Анализ и оценка деятельности производителей современной грузовой автотехники и автобусов показывает, что инновационные процессы направлены на ограничение энергопотребления и снижение уровня вредных выбросов в выхлопных газах двигателей, а также на повышение эффективности средств активной и пассивной безопасности. Растущая урбанизация населения, сопровождающаяся ростом числа мегаполисов, вынуждает задуматься о необходимости преимущественного использования общественного транспорта и коммунальной техники, удовлетворяющего экологическим требованиям.

К альтернативным видам топлива, способным заместить нефтяное, можно отнести спирт, сжиженный нефтяной газ, сжатый и сжиженный природный газ, водород и электричество.

Газомоторное топливо дешевле дизельного, поэтому неудивительно, что многие компании

стремятся перевести коммунальную технику на газ, если имеется возможность удобно организовать их заправку. Конечно, у газового топлива имеются и недостатки. Вес газовых баллонов несколько уменьшает полезную грузоподъемность мусоровоза. К тому же крутящий момент газового двигателя ниже, чем у дизеля, а расход топлива повышается. Но зато экологические показатели соответствуют всем нормам. Коммунальная техника имеет постоянный маршрут движения и ежедневно потребляет большой объем топлива, поэтому является одним из приоритетных сегментов для развития газомоторной отрасли.

Выбросы от транспортных средств являются одной из самых серьезных причин загрязнения воздуха в крупных городах. Так, в Москве и других крупных городах России доля автомобильных выбросов составляет более 90% от общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В городах с более развитой промышленностью доля вклада автомобильных выхлопных газов немного меньше (около 80-90%). В России в целом выбросы автотранспортных средств в атмосферу составляют 42% от их общего числа [1]

Объективными предпосылками роста интереса к использованию газа в качестве моторного топлива [2] в последние годы являются более высокие энергетические и экологические показатели по сравнению с нефтяным топливом. Из всех широко используемых моторных топлив и технологий природный газ обеспечивает наиболее безопасные выбросы выхлопных газов, оказывает заметное влияние на смазочные масла (30-40%). Таким образом, перевод транспортных средств с бензина на газ позволяет снизить в среднем в пять раз вредные выбросы и воздействие шума в два раза.

Загрязнение воздуха в городах стало серьезной проблемой в Китае. Так, в густонаселенном и развитом регионе Пекин-Тяньцзинь-Хэбэй (ВТН)

выбросы транспортных средств являются основными источниками загрязнения [3]. Результаты моделирования показали, что замена старых транспортных средств на новые и повышение качества масла может обеспечить сокращение выбросов.

Целью исследования является снижение вредных выбросов в атмосферу и уровня шума в утренние часы от автотехники путем исследования возможностей перевода автомобилей коммунальных служб на газомоторное топливо. Исследования вопросов безопасности автомобилей на компримированном природном подтвердили высокий уровень этой техники, тем не менее, вопросы ее надежности остаются актуальными. Предложенный метод прогнозирования возможных отказов и планирования сервиса позволит учитывать перспективы расширения парка газомоторной автотехники и пути снижения нагрузки на окружающую среду.

Обсуждение Авторы статьи [4] указывают, что выбросы транспортных средств стали одним из ключевых факторов, влияющих на качество воздуха в городах и изменение климата в регионе дельты реки Чжужцян. Поэтому, анализируя разные сценарии развития транспортной системы, авторы считают, что правительству следует принять долгосрочные стратегии борьбы с выбросами, такие как обновление стандартов выбросов, качества топлива и стратегий приоритета автобусов, долгосрочную перспективу борьбы с загрязнением.

Целью исследования [5] было сравнение жизненного цикла с точки зрения выбросов парниковых газов (ПГ) дизельного топлива и сжиженного природного газа (СПГ), используемых в качестве топлива для транспортных средств большой грузоподъемности на европейском рынке (ЕС-15). Анализ жизненного цикла этих видов топлива проводился в соответствии с методологией, основанной на стандартах ISO 14040: 2006 [6] и ISO 14044: 2006 [7] для сектора «экологического менеджмента». Авторы сконцентрировались на европейском сценарии и на транспортных средствах большой грузоподъемности, учитывая их вклад в глобальные выбросы ПГ. В частности, одним из вопросов была оценка возможного использования небольших установок для сжижения, установленных на станциях технического обслуживания, поскольку этот аспект связан не только с экологическими соображениями, но также влияет на реальное распространение этого топлива, что ограничивается нехваткой капиллярной распределительной сети.

Расходы, связанные с эксплуатацией газомоторных автобусов и коммерческих транспортных средств анализировались в исследовании [8], отмечая преимущества использования CNG по сравнению с дизельным топливом, автор исследования [9] считает, что высокая стоимость транспортных средств и инфраструктура могут препятствовать их

развертыванию. В обзоре [10] показано, что CNG и LNG имеют важное значение для определения развития транспортных средств, работающих на природном газе. Но при этом, по мнению авторов, необходимы дополнительные меры в виде субсидирования развития инфраструктуры, стимулирования использования транспортных средств автопарками.

Таким образом, повышение безопасности и устойчивости транспортной системы города возможно путем постепенного обновления парка коммунальной техники его газовыми аналогами.

Во всем мире уделяют внимание экологичности и бесшумности коммунальных машин. Для снижения вредных выбросов осуществляется перевод автопарков коммунальной техники на более экологичные виды топлива. Шум, связанный с движением транспорта вблизи придомовой территории, в особенности мусоровозов в утренние часы, негативно сказывается на здоровье и общем эмоциональном состоянии жителей города. Газомоторные мусоровозы менее шумные, чем дизельные, что делает их работу менее заметной для жителей.

Результаты. К основным потребителям грузовых газобаллонных автомобилей относятся коммерческие перевозчики, транспортно-логистические службы пищевой промышленности и торговли, нефтегазодобывающая отрасль, строительство, коммунальное хозяйство. Для городских коммунальных служб газомоторные автомобили наиболее актуальны, поскольку замена дизельных аналогов на газомоторные позволит улучшить экологическую ситуацию в крупных городах. Кроме того, поскольку такая техника эксплуатируется на известных и небольших по протяженности маршрутах, можно избежать проблем с заправкой.

Сегодня основными производителями коммунальной техники в России являются ведущие машиностроительные предприятия, среди которых: ОАО «Арзамасский завод коммунального машиностроения» (г. Арзамас, Нижегородская обл.); ОАО «Рязский авторемонтный завод» (г. Рязск, Рязанская обл.); ОАО «Мценский завод коммунального машиностроения» (г. Мценск, Орловская обл.). На их долю приходится 78,5% рынка мусоровозов. Несмотря на достаточно высокие объемы выпуска коммунальных машин Российскими предприятиями, импорт коммунальной автотехники на российском рынке играет важную роль. По итогам января – ноября 2017 г. на территорию России поступило 1037 коммунальных машин общей стоимостью \$2 млн. [11]. Основу импорта коммунальных машин составляет автотехника китайского производства, на втором месте среди стран-производителей Германия, а затем Нидерланды и Италия.

Современные отечественные мусоровозы в большинстве выпускаются на отечественных шасси

КАМАЗ и МАЗ. Иностранные производители шасси также стремятся в сегмент мусоровозов. Для снижения стоимости они адаптировали свои шасси для установки на них надстроек российских автозаводов, а также организовали выпуск самых современных образцов своей техники на российских предприятиях. Тенденцией последних лет является

рост доли мусоровозов с задней загрузкой. Их можно использовать как для вывоза твердых бытовых отходов с мусороперегрузочных станций на полигоны, так и для работы во дворах в условиях плотной городской застройки. Наиболее популярные модели мусоровозов с задней загрузкой представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики наиболее популярных моделей мусоровозов с задней загрузкой

Модель	КО-440В	РГ 35	КО-427-73	КО-427-34	МКЗ-3402
Завод спецтехники	Арзамасский Коммаш	РГ Техно	Мценский завод Коммаш		Рязский авторемонтный завод
Базовое шасси	КАМАЗ-53605	Scania P360	МАЗ-5340В2	МАЗ-5340В2	МАЗ-5337А2
Вместимость кузова, м ³	16	24	18,5	16	18±0,2
Масса загружаемых отходов, кг	7200	12000	7300	7300	5920
Коэффициент уплотнения мусора	2,5 до 9	1 до 7	до 6	до 6	до 6
Грузоподъемность манипулятора, кг	800	нет данных	700 (2200)	700 (2200)	500
Емкость загрузочного ковша, м ³	2	2,2	1,1 (8)	1,1 (8)	2,0
Полная масса, кг	20500	31000	19500	19500	18000
- длина	8500	9686	8300	8300	8400
- ширина	2550	2550	2550	2550	2500
- высота	3700	3631	3800	3500	3600

Система поддержки принятия решений для управления надежностью и безопасностью коммунальной газобаллонной автотехники. С каждым годом продукция автомобильных заводов претерпевает значительные изменения, усложняется как конструкция, так и программное обеспечение, что требует тщательной подготовки и на производстве, и в эксплуатации. Особенность коммунальной техники состоит в том, что шасси изготавливает один производитель, а специальную надстройку – другой. Поэтому необходимы отдельные регламенты на обслуживание.

При этом наличие газового оборудования усложняет задачу обеспечения бесперебойной работы таких автомобилей. Существует еще одна проблема со стороны производителя – сбор достоверных статистических данных о неисправностях. Это так же важно, для возможности оценки этих данных и доработки систем, узлов или агрегатов автомобиля. Особую актуальность это направление деятельности приобретает с усложнением конструкции, поэтому организация единого информационного пространства между производителем и владельцами автопарков играет важную роль в поддержании работоспособности таких автомобилей и предупреждении отказов (рис. 1). Взаимодействие между производителями и владельцами через специальные центры управления позволит оперативно выявлять проблемы и решать их [12, 13]. Такие возможности в настоящее время открывает цифровизация систем, позволяющая создать единое информационное пространство между производственной системой и системами эксплуатации и сервиса.



Рис. 1. Единое информационное пространство поддержки ЖЦ коммунальной техники

Для интерактивного контроля и диагностирования систем, агрегатов и узлов шасси и специального оборудования при выполнении их функциональных задач, на них необходимо установить датчики и исполнительные элементы. Это необходимо для получения диагностической информации и ее обработки для выдачи диагностического заключения. Бортовой компьютер

интегрирует полученную информацию и сообщает водителю о необходимости выполнения определенных действий. В определенные моменты времени информация о состоянии автомобиля и его местоположении поступает на сервер в центр управления. Построению алгоритма диагностирования предшествует анализ статистических данных для выявления наиболее часто повторяющихся неисправностей и отказов. На основании результатов прогнозирования сервер даёт разрешение на дальнейшую эксплуатацию транспортных средства или, при критических результатах обработки, инициирует сообщение водителю о необходимости технического обслуживания или экстренного останова автомобиля.

Обеспечение надежности автомобилей на КПП через систему сервиса. Для развития рынка газобаллонных автомобилей на сжатом природном

газе, необходимо обеспечить развитие инфраструктуры: системы заправочных станций и доставки топлива, диагностических и сервисных центров, а также подготовить квалифицированный персонал, поскольку существуют проблемы качества обслуживания газобаллонных автомобилей в имеющихся сервисных центрах. Это связано со спецификой технологических процессов технического обслуживания и текущего ремонта (ТО и ТР) газобаллонных автомобилей [14].

Сервисное предприятие на своей территории должно иметь: пост проверки герметичности газобаллонного оборудования; пост выпуска (аккумулирования) газа и дегазации баллонов; специализированный участок по ТО и ТР газовой аппаратуры; склад для хранения опорожненных дегазированных баллонов для КПП; открытые площадки для хранения ГБА (рис. 2).

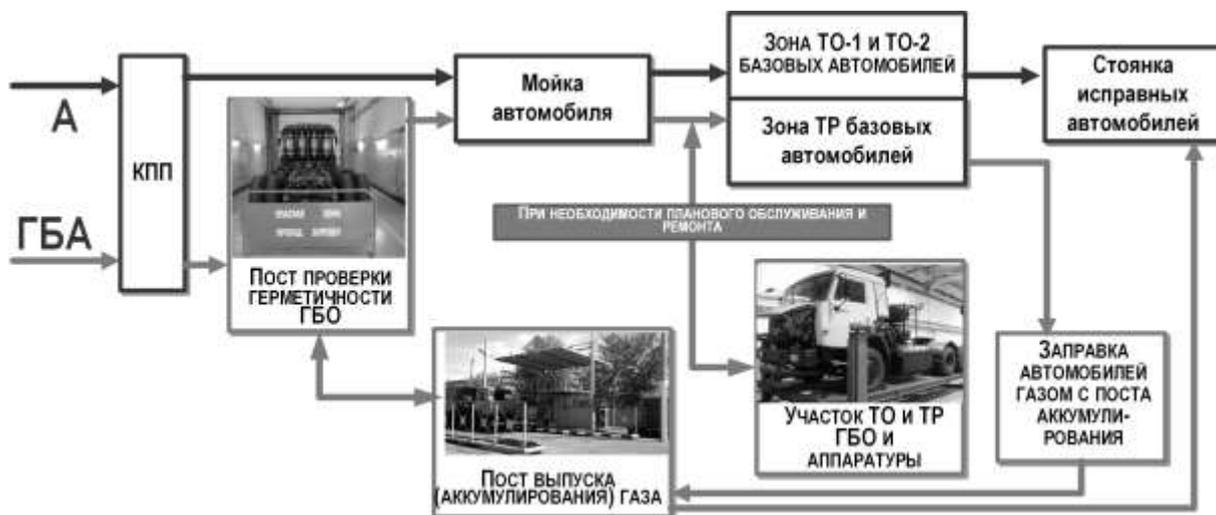


Рис. 2. Типовая схема проведения работ по ТО и ТР ГБА на метане

Перед постановкой на пост технического обслуживания проверяется герметичность газового оборудования и его соединений. При утечке газа в соединениях, въезд на пост технического обслуживания ГБО допускается только после устранения негерметичности. По окончании технического обслуживания или ремонта газового оборудования автомобиль направляют на общие посты для дальнейшего прохождения ТО и ТР автомобиля в целом. При техническом обслуживании (ТО-1) в основной период эксплуатации выполняются работы, отображенные в алгоритме, представленном на рисунке 3.

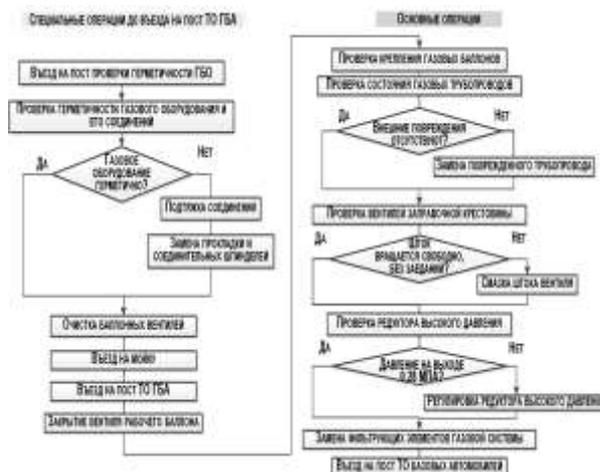


Рис. 3. Технологический процесс технического обслуживания газобаллонного оборудования

Для выявления возможностей совершенствования технологического процесса были изучены потенциально возможные виды дефектов газобаллонного оборудования, возникающие при эксплуатации автомобиля в интервале пробега 25-30 тыс. км, а также их последствия для безопасности и комфорта потребителя (Рис. 4). Данные были получены в производственно-технической службе одного из предприятий, обслуживающего и эксплуатирующего коммунальную автотехнику на газомоторном топливе.



Рис. 4. Процентное соотношение количества рекламаций по газовому оборудованию

Выводы. Сложная экологическая ситуация с вредным воздействием выбросов от дизельного топлива и бензина в городах сделали КПГ весьма перспективным альтернативным топливом для коммунальной техники. Использование природного газа в качестве транспортного топлива для коммунальной техники может способствовать улучшению экологической ситуации в городах, снижению вредного воздействия на здоровье за счет снижения уровня шумового загрязнения и снижения вредных выбросов в атмосферном воздухе.

Однако важным остается вопрос о безотказной работе коммунальных машин. В статье показано, что создание единой информационно-управляющей системы будет способствовать своевременному получению адекватной информации об отказах и совершенствованию технологического процесса на основе ее анализа.

Л и т е р а т у р а

1. Air Pollution in Russia: Real-time Air Quality Index Visual Map. [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://aqicn.org/map/russia/> (Дата обращения: 15.11. 2018).
2. M. I. Khan, T. Yasmeen , M. I. Khan , M. Farooq , M. Wakeel, “Research progress in the development of natural gas as fuel for road vehicles: A bibliographic review (1991–2016)”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 66, pp 702–741, 2016.
3. W. Yang, C. Yu , W. Yuan , X. Wu , W. Zhang, X. Wang, “High-resolution vehicle emission inventory and emission control policy scenario analysis, a case in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region, China”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 203, pp. 530-539, 2018.
4. Y-H. Liu, W-Y. Liao, X-F. Lin, L. Li, X. Zeng, “Assessment of Co-benefits of vehicle emission reduction

measures for fi 2015 2020 in the Pearl River Delta region, China”, *Environmental Pollution*, vol. 223, pp. 62-72, 2017.

5. A. Arteconi, C. Brandoni, D. Evangelista, F. Polonara. Life-cycle greenhouse gas analysis of LNG as a heavy vehicle fuel in Europe. *Applied Energy* 87 (2010) 2005–2013.

6. ISO 14040. Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. International Organisation for Standardisation, Geneva; 2006.

7. ISO 14044. Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines. International Organisation for Standardisation, Geneva; 2006.

8. C. Johnson, “Business case for Compressed Natural Gas in municipal fleets.National”, *Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-7A2-47919, P.40*, 2010

9. OC Kragha, “ Economic implications of natural gas vehicle technology in U.S.private automobile transportation” [PhD Thesis]. Massachusetts Institute of Technology; 2010. (<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/59686>) .

10. H. Hao , Z. Liu , F. Zhao , W. Li. “Natural gas as vehicle fuel in China: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* vol. 62, pp.521–533, 2016.

11. Основные средства [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://os1.ru/article/17601-rossiyskiy-gynok-kommunalnoy-tehniki> (дата обращения. 15.11.2018).

12. Makarova, I.; et al. Improving the system of warranty service of trucks in foreign markets. *Transport Problems* Volume: 10 Issue: 1 Pages: 63-78 Published: 2015

13. Makarova, I.; Khabibullin, R.; Belyaev, E.; et al. Improving the logistical processes in corporate service system. - *Transport Problems* Volume: 11 Issue: 1 Pages: 5-18 Published: 2016. DOI: 10.20858/tp.2016.11.1.1

14. A V Kozlov, A S Terenchenko, V A Luksho, K E Karpukhin, Prospects for energy efficiency improvement and reduction of emissions and life cycle costs for natural gas vehicles, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 52, conference 1, 2017.

R e f e r e n c e s

1. Air Pollution in Russia: Real-time Air Quality Index Visual Map. [jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://aqicn.org/map/russia/> (data obrashhenija 15.11.2018).
2. M. I. Khan, T. Yasmeen , M. I. Khan , M. Farooq , M. Wakeel, “Research progress in the development of natural gas as fuel for road vehicles: A bibliographic review (1991–2016)”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 66, pp 702–741, 2016.
3. W. Yang, C. Yu , W. Yuan , X. Wu , W. Zhang, X. Wang, “High-resolution vehicle emission inventory and emission control policy scenario analysis, a case in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region, China”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 203, pp. 530-539, 2018.
4. Y-H. Liu, W-Y. Liao, X-F. Lin, L. Li, X. Zeng, “Assessment of Co-benefits of vehicle emission reduction measures for fi 2015 2020 in the Pearl River Delta region, China”, *Environmental Pollution*, vol. 223, pp. 62-72, 2017.
5. A. Arteconi, C. Brandoni, D. Evangelista, F. Polonara. Life-cycle greenhouse gas analysis of LNG as a heavy vehicle fuel in Europe. *Applied Energy* 87 (2010) 2005–2013.
6. ISO 14040. Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. International Organisation for Standardisation, Geneva; 2006.

7. ISO 14044. Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines. International Organisation for Standardisation, Geneva; 2006.

8. C. Johnson, “Business case for Compressed Natural Gas in municipal fleets.National”, Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-7A2-47919, P.40, 2010

9. OC Kragha, “ Economic implications of natural gas vehicle technology in U.S.private automobile transportation” [PhD Thesis]. Massachusetts Institute of Technology; 2010. (<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/59686>).

10. H. Hao , Z. Liu , F. Zhao , W. Li. “Natural gas as vehicle fuel in China: A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews vol. 62, pp.521–533, 2016.

11. Osnovnye sredstva [jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <https://os1.ru/article/17601-rossiyskiy-rynok-kommunalnoy-tehniki> (data obrashhenija 15.11.2018).

12. Makarova, I.; et al. Improving the system of warranty service of trucks in foreign markets. Transport Problems Volume: 10 Issue: 1 Pages: 63-78 Published: 2015

13. Makarova, I.; Khabibullin, R.; Belyaev, E.; et al. Improving the logistical processes in corporate service system. - Transport Problems Volume: 11 Issue: 1 Pages: 5-18 Published: 2016. DOI: 10.20858/tp.2016.11.1.1

14. A V Kozlov, A S Terenchenko, V A Luksho, K E Karpukhin, Prospects for energy efficiency improvement and reduction of emissions and life cycle costs for natural gas vehicles, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci, vol. 52, conference 1, 2017.

**Makarova I.V., Mukhametdinov E.M.,
Gabsalikhova L.M., Sadygova G. R.**

WAYS TO IMPROVE THE SAFETY AND SUSTAINABILITY OF THE CITY'S TRANSPORT SYSTEM WHILE EXPANDING THE PARK OF NATURAL GAS MUNICIPAL VEHICLES

At present, the share of rear-loading garbage trucks is growing in the park of municipal equipment. The main technical characteristics of the most popular models of garbage trucks with rear loading are given. Vehicles of waste collection on gas engine fuel will reduce harmful emissions into the atmosphere and the noise level in the morning from the vehicles. Studies on the safety of vehicles on compressed natural gas have confirmed the high level of this vehicles, however, the issues of its reliability remain relevant. The proposed method for predicting potential failures and service planning, as well as forecasting operating conditions, will allow to take into account the prospects for expanding the gas engines vehicles' fleet and ways to reduce the burden on the environment.

Keywords: *gas-powered garbage trucks, emissions, environmental safety*

Макарова Ирина Викторовна, д.т.н, профессор, профессор кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.
E-mail: kamIVM@mail.ru

Makarova Irina Viktorovna, Doctor (Tech.), Professor, Professor of the Department "Service of transport systems ", Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny.
E-mail: kamIVM@mail.ru

Мухаметдинов Эдуард Мухаматзакиевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.
E-mail: funte@mail.ru

Mukhametdinov Eduard Muhamatzakievich, Ph.D. (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department "Service of transport systems ", Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny.
E-mail: funte@mail.ru

Габсалихова Лариса Мухаматзакиевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.
E-mail: muhametdinoval@mail.ru

Gabsalikhova Larisa Muhamatzakievna, , Ph.D. (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department "Service of transport systems ", Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny
E-mail: muhametdinoval@mail.ru

Садыгова Гульназ Рашидовна, старший преподаватель кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.
E-mail: sadygova_1988@mail.ru

Sadygova Gulnaz Rashidovna, Senior teacher of department "Service of transport systems ", Kazan Federal University, NaberezhnyeChelny
E-mail: sadygova_1988@mail.ru

Рецензент: Кулаков Александр Тихонович, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Статья подана: 15.03.2019

УДК 656.13

ADVANTAGES, PERSPECTIVES AND RISKS TO USE AUTONOMOUS VEHICLES

Makarova I., Pashkevich A., Shubenkova K.

ПРЕИМУЩЕСТВА, ПЕРСПЕКТИВЫ И РИСКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОНОМНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Макарова И., Пашкевич А., Шубенкова К.

The specialists of different fields – from traffic management and control to logistics – are interested to develop the market of autonomous cars. Such development could give a synergistic effect, because they can improve reliability, safety, efficiency and sustainability of the transport system. However, there are still problems that have to be solved. Positive and negative factors, possible conflicts and risks of expansion of autonomous cars are considered in the paper. To identify factors influencing on the road safety Haddon's Matrix, supplemented by the group of factors "information environment", was used. It is possible to prevent accidents and to reduce their severity only on the basis of multiple-factor analysis of information identifying the causes of critical situations. This can be implemented with the use of such opportunities as On-Line Analytical Processing (OLAP) and Big Data, which allows taking into account different groups of risks, for example, quality of algorithms, communications reliability by data transfer, cyber-threats.

Ключевые слова: autonomous vehicles, reliability, safety, risk analysis, sustainability of transport system, Haddon's Matrix, Big Data, OLAP.

Introduction. The world economy in the new millennium is characterized by two main trends. On the one hand, it is the rapid development of engineering and technology that requires significant amounts of resources and that causes the emergence of an increasing number of sources of negative impact on the environment. On the other hand, it is the growing number of supporters of transition to a green economy that initiate the development of strategies and policy documents on sustainable development in all spheres of human activity. The processes of globalization and urbanization are accompanied by the growth of transportation demand and, consequently, require increasing sustainability and safety of transport system.

Negative consequences of urbanization, development of the real sector of the economy and unwarranted harmful environmental impact of the humanity is the reason of the priority of the 5 sectors underpinning the UNEP's report "Global Green New Deal" [1]. One of these sectors is the "Sustainable

Cities, including planning, transportation and green building".

The three-pronged strategy of UNEP in the area of transport, a sector which accounts for approximately one quarter of all energy-related greenhouse gas emissions is "Avoid – Shift – Clean". Through its transport program, UNEP is promoting a paradigm shift for a less autointensive, but no less mobile, world. A lot of methods are proposed to solve this problem. One of the most perspective methods is the process of transportation systems' intellectualization that is represented in the motor transport development strategy AutoNet.

1. Transport Systems Development

2.1. Processes of Intellectualization: Advantages and Disadvantages

Along with the development of fully autonomous vehicles automakers are also working on the improvement of advanced driver assistance systems (ADAS) that use such technologies as V2x and 5G to communicate with other road users. According to researchers, the reduction of the human factor's role in the large-scale system management process will decrease the risk of accidents that cause serious consequences in the conditions of large cities and megapolises.

Development of the driverless vehicles is the logical result of implementation of the intelligent transport systems (ITS) as a systemic strategy. This scientific area as well as such areas as artificial intelligence, robotics, electronics that are directed to creating a safe environment, are particularly relevant in the implementation of the Millennium Development Goals. According to European experience, intelligent transport systems could create clear advantages for transport systems: ITS increase its efficiency, sustainability and safety as well as support the development of EU domestic market and the improvement of competitive power. As it is noted in the documents of the European Commission, since the 80ies

of the last century a number of activities in this area were carried out in Europe. However, these actions have often got uncoordinated and fragmentary nature. In addition, they are traditionally aimed at solving specific problems, such as ensuring environmental friendliness and energy efficiency of transport, congestion on roads, traffic management, traffic safety, safety of commercial transport, as well as mobility of population. At the current stage of these systems' development the most urgent tasks are geographical continuity as well as standardization and compatibility of systems and services.

Currently the service Real-time Traffic and Travel Information (RTTI) promotes the significant growth of population mobility. This service provides real-time information on the traffic situation and the best travel routes. This information (more often in conjunction with a satellite navigation services) is offered by both public and private sources. In the longer term it is expected that the full potential of the system will be revealed. These systems (that are based on the principle of cooperation between road users and infrastructure elements) include systems which ensure communication and information exchange between vehicles V2V (vehicle-to-vehicle), between vehicle and infrastructure V2I (vehicle-to-infrastructure), and between the various infrastructure elements I2I (infrastructure-to-infrastructure). If it is needed, these systems could be supplemented by Global Navigation Satellite System (GNSS).

One of the main areas of ITS, which is actively promoted by the last 15 years is the implementation of intellectual vehicle. International program "Increased safety vehicle" is implemented. The first experiments of onboard intelligent systems' implementation have shown that they are able to reduce the number of traffic accidents by 40 percent and to reduce the number of fatal accidents by 50 percent. Transition from the driver assistance systems' creation to the semi-autonomous driverless vehicles' development is a global trend. It is explained by the desire of developers to ensure sustainability and safety of transport system [2, 3, 4]. At the same time, it should be taken into account that new technical and technological solutions can cause new problems which will require new methods and means. Thus, the emergence of new types of vehicles with fundamentally new control systems can cause problems in the area of safety and interaction with other road users. It is necessary to identify potential risks, to predict the likelihood of their occurrence and to determine possible consequences. In addition, ways to prevent risk situations and to reduce severity of their consequences should be developed.

2.2 Technical Possibility to Create Robo-mobiles: Research Directions and Results

Despite the variety of actions and efforts to ensure safety in the transport systems, the number of road accidents is huge. Most of them are connected with the violation of traffic rules, i.e., due to "human factor" [5,

6, 7, 8, 9, 10, 11]. Researches in the field of further intellectualization of road vehicles are associated with creation of semi-autonomous and fully autonomous vehicles. In fact, an intelligent robot is created. This robot must be able to make decisions or plan its actions in the uncertain or difficult situation. Such a system should choose the route to destination, bypass the possible obstacles, choose the optimal parameters of movement (speed, position in space, the acceleration when cornering) and prevent accidents.

The main research directions are control improvement (calculating trajectory or an optimal route) [12, 13, 14], interaction between the road users and the infrastructure (V2V, V2I, I2I), the interaction between vehicles and pedestrians [15, 16]. Scientists, software developers and manufacturers of vehicles carry out such researches.

The main objective of driverless vehicles is the improvement the reliability, safety, efficiency and sustainability of the transport system. Wherein the most optimistic forecasts are given. However, in our opinion, there are problems that need to be solved now, when driverless vehicles are not mass transport yet.

Table 1 shows the generalized positive and negative factors of expansion of the autonomous vehicles' fleet grouped by types.

3. Safety Issues and Solutions

3.1. Possible Conflicts and Risks

Road accidents cause thousands of deaths and injuries each year. The number of fatal accidents and severe injuries, caused by road accidents, may be reduced through applying an integrated approach to safety on roads. The strategies and programs to improve road traffic should include the following measures: reducing the risk of exposure to an accident, prevention of accidents, reduction in bodily injuries sustained in accidents, and reduction of the effects of injuries by improvement of post-accident medical care. A number of analytical steps needed to be performed in order to estimate the cost-effectiveness of road safety measures in different parts of the world.

Operation of any complicated system is always closely connected to the risks. It is especially actual for transport systems.

EuroRAP's vision is for a Europe free of high risk roads and supports the UN Decade of Action for Road Safety 2012-2020. Its formal objectives are to: (1) reduce death and serious injury on Europe's roads through a systematic program of risk assessment, identifying major safety shortcomings that can be addressed by practical road improvement measures; (2) ensure risk assessment lies at the heart of strategic decisions on route improvements, crash protection and standards of route management; and (3) forge partnerships between those who are responsible for a safe road system – motoring organisations, vehicle manufacturers and road authorities.

Table 1

Advantages and disadvantages of expansion of the autonomous vehicles' fleet

Type	Positive	Negative
technical	Vehicles' design development	Reduction of operational reliability because of increased complexity of the vehicles' design
	Reduction of the vehicles' weight	Increased infrastructure requirements
	Possibility to use new constructional materials	Increased requirements to the weather conditions
	Possibility to control technical condition of vehicles	Increased requirements to communication systems
ecological	Cargo transportation in hazardous areas, during natural and technological disasters or military operations	The risk of technological disasters if there are cyber attacks or failures in the control system
	Fuel saving	The risk of increasing negative impact on environment because of expansion of the vehicles' fleet
	Reduction in emissions and noise	The risk of road networks' overload due to the redistribution of traffic flows by modes of transport
organizational	Increase in road capacity by narrowing of the road lanes	Complexity of the movement algorithms for rough terrain
	Timesaving	Disorientation in bad weather conditions
	Minimizing congestion	The risk of software hacking
	No problems with parking	The absence of a panoramic view of the streets, impeding the routing
	The ability to control vehicles' fleet	Increased requirements to information processing speed
	Observance of traffic regulations	Complexity of decision-making in unusual situations
	The ability to plan trips at any time	The complexity of communication with traditional non-autonomous vehicles
economic	Decreased costs of cargos and people transportation	The high cost of infrastructure changes
	Reduced parking area	The high price of the vehicles
	Reduced the cost of damage caused by accidents and delays in traffic	Increased total travel time due to the expansion of potential consumers
	Possibility of collective use of the vehicle	Redistribution of traffic and passengers flows by modes of transport
legal and ethical	Reduced risk of the vehicle's theft	Loss of privacy
	Reduction of crime situations	Adequacy of algorithms for critical situations
	Reduction and change of the form of insurance premiums	Ambiguity of legal responsibility for causing damage
	No conflicts between drivers on the roads	Ambiguity of legal responsibility when organizing transportation
social	Minimization of road accidents, human victims	Loss of self-driving capability
	Increased inclusiveness (the possibility of travel for the disabled, the elderly, etc.)	Lack of driving experience of drivers in critical situations
	Possibility to control the route when arranging trips for children, elderly people	The loss of jobs by people whose work is related to driving vehicles
	Reducing time losses while waiting for transport	Possibility of mining the vehicle

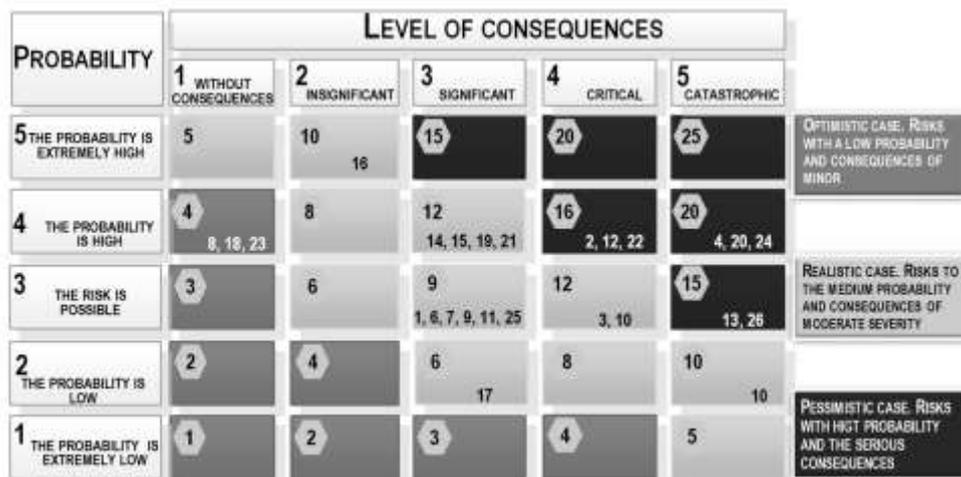


Fig. 1. Matrix of risks

Table 2

Assessment of potential risks of transition to the autonomous vehicles' fleet

№	Risk	Risk probability	Consequences	Risk level	Ways of influences
Technical					
1	Reduction of operational reliability because of increased complexity of the vehicles' design	3	3	9	Service system improvement, the use of highly reliable components, redundancy of elements that ensure safety
2	Increased infrastructure requirements	4	4	16	The use of new technologies and high-strength materials when constructing
3	Increased requirements to the weather conditions	3	4	12	Increasing the sensitivity of the sensors
4	Increased requirements to communication systems	4	5	20	Development of new communication systems, duplication of communication channels
Ecological					
5	The risk of technological disasters if there are cyber attacks or failures in the control system	2	5	10	Development of information security systems, improving the reliability of control systems, implementation of backup systems
6	The risk of increasing negative impact on environment because of expansion of the vehicles' fleet	3	3	9	The use of resource-saving technologies, improving the efficiency of transportation management
7	The risk of road networks' overload due to the redistribution of traffic flows by modes of transport	3	3	9	Increasing the attractiveness of "green" modes of transport, improving the quality of transportation planning
Organizational					
8	Complexity of the movement algorithms for rough terrain	2	2	4	Improving of the movement algorithms and the vehicles' design
9	Disorientation in bad weather conditions	3	3	9	Improving of position control systems
10	The risk of software hacking	3	4	12	Development of effective protection systems
11	The absence of a panoramic view of the streets, impeding the routing	3	3	9	Financing development of effective GIS systems and updating maps
12	Increased requirements to information processing speed	4	4	16	Support for the companies involved in development of technical and software solutions in the field of Big Data
13	Complexity of decision-making in unusual situations	3	5	15	Development of expert systems and knowledge bases in the field of traffic management. Accidents' statistics collection
14	The complexity of communication with traditional nonautonomous vehicles	4	3	12	Improvement of gesture recognition and speech-understanding technologies
Economic					
15	The high cost of infrastructure changes	4	3	12	Development of high-strength and durable materials and construction technologies
16	The high price of the vehicles	5	2	10	Support for corporate vehicle fleets to expand the market
17	Increased total travel time due to the expansion of potential consumers	2	3	6	Improvement of transportation planning system, development of bonus and penalty schemes to decrease transportation costs
18	Redistribution of traffic and passengers flows by modes of transport	2	2	4	Regulation of transportation tariffs, increasing the attractiveness of economic, eco-friendly and safe moads of transport
Legal and ethical					
19	Loss of privacy	4	3	12	Improvement of personal data security system
20	Adequacy of algorithms for critical situations	4	5	20	Analysis of accumulated statistical information on accidents and improvement of algorithms
21	Ambiguity of legal responsibility for causing damage	4	3	12	Legislation improvement
22	Ambiguity of legal responsibility when organizing transportation	4	4	16	Legislation improvement
Social					
23	Loss of self-driving capability	2	2	4	Allocation of special roads for drivers of traditional cars
24	Lack of driving experience of drivers in critical situations	4	5	20	Improvement of drivers and autonomous cars' users training programs and facilities, creation of malfunctionprotection system
25	The loss of jobs by people whose work is related to driving vehicles	3	3	9	Retraining of drivers, provision of alternative jobs
26	Possibility of mining the vehicle	3	5	15	Security upgrade, implementation of the temperproof systems

The complexity of transportation systems' risk analysis is due to the fact that an accident potentially may happen in any part of the route and the same events may lead to absolutely different consequences [17]. That's why every decision for the existing transportation system's optimization should also be considered from the perspectives of risk management.

In most of investigations [18, 19, 20, 21], connected with risk assessment, the risk management process is divided into 4 stages:

1) Risk identification is classification and recognition the potential risks connected to uncertainty of decision making situations while transportation systems management.

2) Risk assessment is assignment of probabilities to risk-bearing events in the system and identifying the consequences of those risk events defined in the first step. To reach this goal previous years' statistics and experience are used.

3) Risk reduction method is determined depending on the probability and potential weight of risks' consequences. In general, the methods of risk's control are risk taking, risk mitigation, risk avoidance and risk transfer.

4) Risk monitoring is risk tracking and fixing the changes in the system for timely responding and assessment of efficiency of the risks minimization measures.

A number of researches are devoted to the study of risks. Different analytic methods are developed and modified in these researches:

- methodology for ranking road safety hazardous locations using analytical hierarchy process (AHP) [22].
- modification of the EuroRAP model [23]
- method to determine the "bottlenecks" of the road network and the ways to measure their vulnerability [24].

Risk, as a physical category, should be rated through two-dimensional set of indicators: the measure of uncertainty of the negative results occurrence (risk probability) and the measure of consequences or damage. It is possible to estimate probability of approach of each risk thus: 1 – a very low probability; 2 – a low probability; 3 – risk is probable; 4 – a high probability; 5 – a very high probability. Risk is assessed on the potential damage in accordance with the following significant consequences: 1 – without consequences; 2 – with small consequences; 3 – with great consequences; 4 – with critical consequences; 5 – with catastrophic consequences.

Results of an assessment of potential risks are presented in the Table 2, and the risk matrix highlighting critical area is presented in the Figure 1.

Improving road safety involves identifying the risk factors that contribute to crashes and injuries, then identifying the interventions that reduce the risks associated with those factors [25, 26].

3.2. Possible Solutions

A reference framework for identifying factors that have an impact on road traffic injuries is the Haddon Matrix [27, 28, 29], which divides factors into human, vehicular and environmental causes across three temporal phases - pre-crash, crash and post-crash.

Haddon described road transport as an ill-designed "man-machine" system in need of comprehensive systemic treatment. Each phase – pre-crash, crash and post-crash – can be analysed systematically for human, vehicle, road and environmental factors. The Haddon matrix is an analytical tool to help in identifying all factors associated with a crash. Once the multiple factors associated with a crash are identified and analysed, countermeasures can be developed and prioritized for implementation over short-term and long-term periods.

PHASE →	BEFORE CRASH	IN CRASH	AFTER CRASH
HUMAN (DRIVERS, CYCLISTS, PEDESTRIANS, ETC.)	<input type="checkbox"/> WORK WITH VIOLATORS; <input type="checkbox"/> TAKING INTO ACCOUNT PREVIOUS EXPERIENCE; <input type="checkbox"/> TOLERANCE PENALTY; <input type="checkbox"/> CONTROL AND PREVENTION OF OFFENCES	<input type="checkbox"/> USE OF PASSIVE SAFETY EQUIPMENT (BELTS, CHILD RESTRAINTS)	<input type="checkbox"/> EMERGENCY RESPONSE; <input type="checkbox"/> CONTROL OF PERSON BEHAVIOR, RESPONSIBLE FOR THE ACCIDENT; <input type="checkbox"/> IDENTIFICATION OF "MALICIOUS" VIOLATORS AND WORK WITH THEM.
TRANSPORT (VEHICLES & EQUIPMENT)	<input type="checkbox"/> DRIVER FATIGUE MONITORING SYSTEMS; <input type="checkbox"/> ADAS; <input type="checkbox"/> CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE VEHICLE.	<input type="checkbox"/> IMPACT PROTECTION (AIRBAGS, LIMITERS, ETC.)	<input type="checkbox"/> FIRST AID EQUIPMENT; <input type="checkbox"/> ALERT ALERT BUTTON (ERA-GLONASS);
ENVIRONMENT (INFRASTRUCTURE, ETC.)	<input type="checkbox"/> THE ROAD GEOMETRY, THE ROADWAY CONDITION; <input type="checkbox"/> PROVIDING VISIBILITY; <input type="checkbox"/> PEDESTRIAN INFRASTRUCTURE	<input type="checkbox"/> ROAD SAFETY EQUIPMENT (BUFFER ZONES, SAFETY BARRIERS, ETC.)	<input type="checkbox"/> ACCIDENT RECONSTRUCTION; <input type="checkbox"/> ALERT TRAFFIC PARTICIPANTS ABOUT THE ACCIDENT; <input type="checkbox"/> IDENTIFICATION OF ACCIDENT CONCENTRATION PLACES
IT AND COMMUNICATIONS	<input type="checkbox"/> IDENTIFY TYPES OF IT THREATS; <input type="checkbox"/> IMPROVING INFORMATION POLICY; <input type="checkbox"/> SECURITY ENHANCEMENT	<input type="checkbox"/> POB IDENTIFICATION; <input type="checkbox"/> BLOCKING THREATS; <input type="checkbox"/> REFLECTION OF CYBER ATTACKS	<input type="checkbox"/> DAMAGE LOCALIZATION OF; <input type="checkbox"/> VIRUS TREATMENT; <input type="checkbox"/> REASON'S CONSIDERATION
↑ FACTORS	ACCIDENT PREVENTION	REDUCING THE ACCIDENT SEVERITY	ELIMINATION OF THE ACCIDENT CONSEQUENCES

Fig. 2. Modified Haddon matrix

For the pre-crash phase, it is necessary to select all countermeasures that prevent the crash from occurring. The crash phase is associated with countermeasures that prevent injury from occurring or reduce its severity if it does occur. Finally, the post-crash phase involves all activities that reduce the adverse outcome of the crash after it has occurred.

Analysis of the risks' matrix shows that the most probable risks with serious consequences for both human and the transport system in general are related to the quality of information and communication technologies (including software, communications systems, security systems, etc.). That is why, in our opinion, it is necessary to modify the Haddon matrix by including the concept of "information environment" to more general concept "environment". This will allow identifying countermeasures that need to be taken to prevent threats both in the short and long term. An example of modified Haddon matrix is presented in Figure 2. Technologies' development and expansion of the market of intelligent vehicles (including autonomous cars) are accompanied with expansion of the range of factors influencing transport systems' safety. Considering this fact, it is possible to prevent disasters and to reduce the severity of incidents only on the basis of multiple-factor analysis of information identifying the causes of critical situations.

In our opinion, for these purposes it is possible to use such opportunities as OLAP and BIG DATA, which allows taking into account different group of risks, for example, quality of algorithms, communications reliability by data transfer, cyber-threats.

3.3. Decision Support Systems in Transport System's Management

Decision support systems (DSS) are designed for the purposes of strategic management, as well as for local tactical problems solution. The structure of DSS essentially depends on the kind of objectives to be tackled, on the available data, information and knowledge and also on the system's users. Therefore a DSS consists of three main parts:

- 1) A data system for collecting and storing of information that is obtained from internal and external sources; as a rule it is a data storage.
- 2) A dialogue system affording the user to set the data to be selected and methods for their processing.
- 3) A system of models, i.e. ideas, algorithms and procedures permitting to process and analyse the data. User has a certain experience, is aware of the situation and is motivated by certain considerations when selecting the data. The data are processed using various procedures, ranging between mere search to statistical analysis and nonlinear optimization.

Since decision making is based on the real data of the managed object, both analysis and adopting of strategic decisions require aggregate information available from a specially created data storage (DS). DS are formed for integrating, actualizing and coordinating of the operative data from heterogeneous sources in order to arrive at a single, non-controversial view of the

object as a whole. DS contain the information collected from several operative databases of an On-Line Transaction Processing systems (OLTP). The core of a road situation control center is a multi-dimensional intelligent data model (OLAP) which collects, stores and formalizes the road network parameters (Fig. 3 a,b).

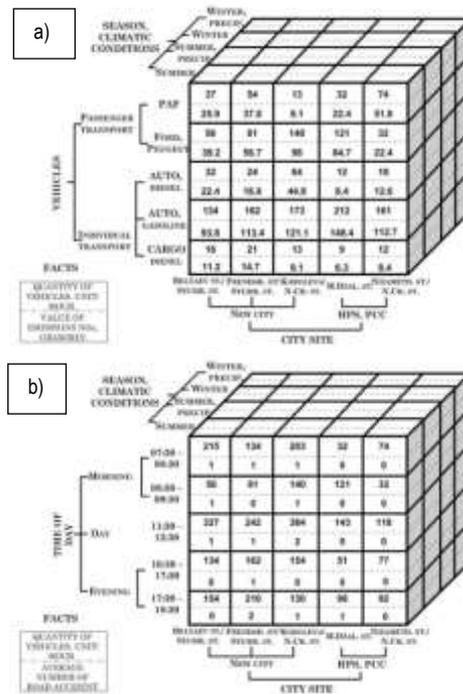


Fig. 3. OLAP cube: a) the "kind of transport" dimension; b) the "time of day" dimension

An OLAP cube is a term that typically refers to multi-dimensional array of data. The term "cube" here refers to a multi-dimensional dataset, which is also sometimes called a hypercube if the number of dimensions is greater than 3. In database theory, an OLAP cube is an abstract representation of a projection of a relational database management system RDBMS (relational database management system) relation. Given a relation of order N , consider a projection that subtends X , Y , and Z as the key and W as the residual attribute. Characterizing this as a function, $F(X, Y, Z) \rightarrow W$, the attributes X , Y , and Z correspond to the axes of the cube, while the W value into which each (X, Y, Z) triple maps corresponds to the data element that populates each cell of the cube.

To reproduce real situations correctly in the model it is necessary to use operational information that can be collected from different sources: from servers of the municipal enterprises, from the equipment for operative monitoring of a road situation (GPS/GLONASS devices). Quick access to the data is provided by OLAP technology. Multi-dimensional data model (OLAP-cube) allows accumulating and processing large amounts of operational information that is a basis for decision making.

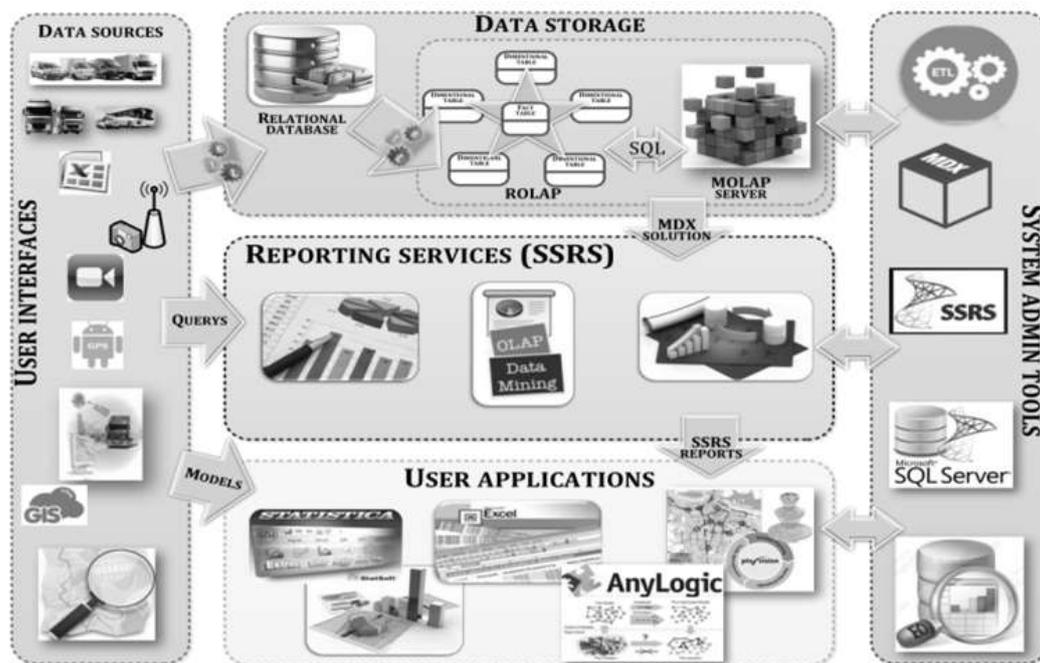


Fig. 4. Architecture of the DSS

By analyzing the information on varying road parameters within the day time, week day, and month it is possible to forecast probable changes of the road traffic in the future. Besides, modeling of variants of possible solutions with varying system parameters allows selecting the optimal parameters and creating a database of best solutions at fixed parameters of the transport flow and external environment. Such bases serve for operative decision making in the case of transport emergencies.

The intellectual core of the DSS is often composed by simulation models, which affords not only to make a qualitative analysis of the processes but to investigate the consequences of variations and select the variant satisfying all preset limitations to obtain the system parameters optimal for the preset conditions [30].

Changes in the traffic flow's structure (increase in the percentage of connected vehicles) will be accompanied with changes in the field of traffic safety. Analysts predict that the main causes of the accidents will change, in particular, the percentage of accidents caused by unsatisfactory technical condition of the vehicle will increase. DSS with the help of simulation models, where the quality structure of the traffic flow can be varied, will allow identifying the best ways to quickly respond to emerging critical situations.

The study of the transport flow parameters allows determining the condition of the road network and the problems that must be solved to improve the situation on city roads: congestion of traffic lanes; average flow rate in the section of the street-road network; traffic density; flow rate; ecological parameters of the environment near the roadways and highways.

One of the main conditions of successful management is up-to-date and qualitative information.

To work with data the special interface has been created. It provides information input and its administration. Besides, users can create queries and obtain the necessary data for the intellectual analysis. The architecture of this system is presented in Figure 4.

The elements of a dimension can be organized as a hierarchy, a set of parent-child relationships, typically where a parent member summarizes its children. Parent elements can further be aggregated as the children of another parent.

Conceiving data as a cube with hierarchical dimensions leads to conceptually straightforward operations to facilitate analysis. Slicer is a term for a dimension which is held constant for all cells so that multi-dimensional information can be shown in a two-dimensional physical space of a spreadsheet or pivot table. Each cell of the cube holds a number that represents some measure of the research areas, such as: traffic intensity, the number of accidents and average speed of vehicle flow.

The two basic hierarchical operations when displaying data at multiple levels of aggregations are the "drill-down" and "roll-up" operations. Drill-down refers to the process of viewing data at a level of increased detail, while roll-up refers to the process of viewing data with decreasing detail [31]. Besides, such operations are applied as: slice - this operation selects one particular dimension from a given cube and provides a new sub-cube; dice - this operation selects two or more dimensions from a given cube and provides a new sub-cube; pivot - this operation is also known as rotation. It rotates the data axes in view in order to provide an alternative presentation of data. In our case as the set of attributes were taken such indicators as: city, area and street, time of year and time of day. These attributes

allow most clearly showing the situation that can occur in areas of the street-road network.

Multidimensional Expressions (MDX) is a query language for OLAP databases, which provides a specialized syntax for querying and manipulating the multidimensional data stored in OLAP cubes [32]. MDX has become the standard for OLAP systems.

```
select{
  [Season].[Times].[All].[Spring] on columns
  [City].[Area].[Street].[All].Children on rows
}
from [intensity]
```

The following example shows a query that uses the select statement. This query returns a result set that contains the road traffic intensity in the chosen season and days, and also on the selected streets and avenues (Fig. 5).

Intensity		Naberezhnye Chelny				
		New city			HPS, PCC	
		Belyayev st. Symb. st.	Freundsh. st. Symb. st.	Koroleva N.Ch. st.	M.Dral. st.	Nizametd. st. N.Ch. st.
Passenger transport	PAF	37	54	13	32	74
	Ford, Peugeot	56	81	140	121	32
Vehicles	Auto, diesel	39.2	56.7	98	84.7	22.4
	Auto, gasoline	32	34	64	12	38
	Auto, diesel	22.4	16.8	44.8	8.4	12.6
	Auto, gasoline	134	162	173	212	161
Cargo	Auto, diesel	93.8	115.4	121.1	148.4	112.7
	Cargo, diesel	16	21	13	9	12
		11.2	14.7	9.1	6.3	8.4

Fig. 5. Example of formation of the query

Conclusions. Intellectualization of vehicles will increase relevance of solving management tasks, as it will be necessary to organize interaction between dissimilar systems. Along with it risks should be considered.

The quality of control in large systems is determined by the quality of the initial information and algorithms for its processing. In the paper the concept of DSS is proposed, where generation of requests for selecting data from large arrays is carried out according to the management objectives and is implemented with the use of OLAP-technology. Intelligent information analysis can include various methods, such as simulation modeling, neural network technologies, fuzzy logic, etc. or their combination. As a method to develop recommendations to improve road safety the Haddon matrix was used. Decisions made on the basis of the Haddon Matrix are verified with the use of simulation macro model of the city's transport system and micromodels of problematic sections of the road network. First of all, these models are validated by the real situation on the roads. To make this, field observations of transport flows are conducted. Evaluating the effectiveness of made decisions should be carried out based on the feedback: it is necessary to analyze how the adoption of certain solutions affects on accident statistics. If recommended decisions didn't have an expected positive effect, Haddon matrix is

revised and adjusted in accordance with the actual results.

References

- United Nations Environment Programme (2009). "Global Green New Deal" – Environmentally-focused investment historic opportunity for 21st century prosperity and job generation, from <http://www.mondialisations.org/php/public/art.php?id=30584&lan=EN&p=1>
- European Commission (2016). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions a European Strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a Milestone Towards Cooperative, Connected and Automated Mobility, 12 P., From [Http://Ec.Europa.Eu/Transparency/Regdoc/Rep/1/2016/En/Com-2016-766-F1-En-Main-Part-1.Pdf](http://Ec.Europa.Eu/Transparency/Regdoc/Rep/1/2016/En/Com-2016-766-F1-En-Main-Part-1.Pdf)
- Richardson, N., Doubek, F., Kuhn, K., Stumpf, A. (2017). Assessing truck drivers' and fleet managers' opinions towards highly automated driving. In Stanton N., Landry S., Di Bucchianico G., Vallicelli A. (Eds.), *Advances in Human Aspects of Transportation. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 484 (pp. 473-484). Springer, Cham.
- Makarova, I., Khabibullin, R., Shubenkova, K., & Boyko, A. (2016). Ensuring sustainability of the city transportation system: problems and solutions. *E3S Web of Conferences (ICSC 2016)*, 6, 02004.
- Vanlaar, W., & Yannis, G. (2006). Perception of road accident causes. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 155–161.
- Moran, M., Baron-Epel, O., & Assi, N. (2010). Causes of road accidents as perceived by Arabs in Israel: A qualitative study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 13, 377–387.
- Ma, Zh., Zhao, W., Chien, S.I-J., & Dong Ch. (2015). Exploring factors contributing to crash injury severity on rural two-lane highways. *Journal of Safety Research*, 55, 171–176.
- Peek-Asa, C., Britton, C., Young, T., Pawlovich, M., & Falb, S. (2010). Teenage driver crash incidence and factors influencing crash injury by rurality. *Journal of Safety Research*, 41, 487–492.
- Goniewicz, K., Goniewicz, M., Pawłowski, W., & Fiedor, P. (2016). Road accident rates: strategies and programmes for improving road traffic safety. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 42, 433-438.
- Xu, Ch., Liu, P., Wang, W., & Jiang, X. (2013). Development of a crash risk index to identify real time crash risks on freeways. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17, 1788-1797.
- Costello, Th.M., Schulman, M.D., & Mitchell, R.E. (2009). Risk factors for a farm vehicle public road crash. *Accident Analysis and Prevention*, 41, 42–47.
- Wilca, J., Aduane, L., & Mezouar, Y. (2015). Optimal multi-criteria waypoint selection for autonomous vehicle navigation in structured environment. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 82, 301-324.
- Franzè, G., & Lucia W. (2015). The obstacle avoidance motion planning problem for autonomous vehicles: A low-demanding receding horizon control scheme. *Systems & Control Letters*, 77, 1–10.
- González, D., Pérez, J., Milanés, V., & Nashashibi, F. (2016). A review of motion planning techniques for

automated vehicles. IEEE Transactions on intelligent transportation systems, 17, 1135-1145.

15. Ohn-Bar, E., & Trivedi, M.M. (2017). Are all objects equal? Deep spatio-temporal importance prediction in driving videos. Pattern Recognition, 64, 425-436.

16. Durech, J., Franekova, M., Holecko, P., & Bubenikova, E. (2016). Modelling of security principles within Car-to-Car communications in modern cooperative intelligent transportation systems. Information and safety-related systems, 14, 49-58.

17. Chen, S., Rakotonirainy, A., Loke, S.W., & Krishnaaswamy, Sh. (2007). A crash risk assessment model for road curves. In Proceedings 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (pp. Chen1-Chen8). Lyons, France.

18. Łukasik, Z., & Szymanek, A. (2012). Safety and risk in road traffic: Selected problems. Transport Problems, 7, 83-94.

19. Mussigmann, N. (2006). Mitigating risk during strategic supply network modeling. In W. Kersten, & Th. Blecker (Eds.), Managing risks in supply chains: How to build reliable collaboration in logistics, 1 (pp. 213-226). Berlin: Erich Schmidt Verlag.

20. Tuncel, G., & Alpan, G. (2007). A high level Petri net based modeling approach for risk management in supply chain networks. In Proceedings of the 21st European Simulation and Modeling Conference – ESM 2007 (pp. 178-185). Belgium, Ostend: EUROSIS-ETI Publication.

21. Tuncel, G. (2011). How can risks be managed in logistics networks. In Brugnoli A. (Ed.), Dangerous materials: control, risk prevention and crisis management. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 00 (pp. 93-100). Springer, Dordrecht.

22. Agarwal, P.K., Patil, P.K., & Mehar, R. (2013). A methodology for ranking road safety hazardous locations using analytical hierarchy process. Procedia – Social and Behavioral Sciences, 104, 1030 – 1037.

23. Lynam, D. (Ed.) (2012, September). Development of Risk Models for the Road Assessment Programme, TRL. D Lynam, TRL. February 2012. 46 p.

24. Bengtsson, J. & Tómasson, B. (Eds.) (2008, March 31). Vulnerability and risk analysis of road infrastructure in Reykjavik, 41 p.

25. World Health Organization (2017). Road traffic injuries, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en/>

26. World Health Organization (2006). Risk factors for road traffic injuries. In D. Mohan, G. Tiwari, M. Khayesi, & F.M. Nafukho (Eds.), Road traffic injury prevention: training manual (pp. 21-41). Geneva: WHO Press

27. Haddon, J.W. (1980). Advances in the epidemiology of injuries as a basis for public policy. Public Health Report, 95, 411-421.

28. Chisholm, D. & Naci, H. (Eds.) (2008, December). Road traffic injury prevention: an assessment of risk exposure and intervention cost-effectiveness in different world regions, 59 p.

29. Yaghoubpour, Z., Givehchi, S., Ali Tabrizi, M., Masoudi, F., & Nourian, L. (2016). Public transport risk assessment through Fault Tree Analysis. International Journal of Human Capital in Urban Management, 1, 93-102.

30. Makarova, I., Khabibullin, R., Belyaev, E., & Zhdanov, D. (2013). Intellectualization of transport systems for the benefit of safety and the sustainable development of territories. Journal of International Scientific Publications: Ecology&Safety, 7, 189-199.

31. Ceci, M., Cuzzocrea, A., & Malerba, D. (2015). Effectively and efficiently supporting roll-up and drill-down OLAP operations over continuous dimensions via hierarchical clustering. Journal of Intelligent Information Systems, 44, 309-333.

32. Ghrab, A., Romero, O., Skhiri, S., Vaisman, A., & Zimányi, E. (2015). A framework for building OLAP cubes on graphs. Lecture Notes in Computer Science, 9282, 92-105.

**Макарова И., Пашкевич А., Шубенкова К.
ПРЕИМУЩЕСТВА, ПЕРСПЕКТИВЫ И
РИСКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОНОМНЫХ
АВТОМОБИЛЕЙ**

Специалисты разных областей - от управления движением и контроля до логистики - заинтересованы в развитии рынка автономных автомобилей. Такое развитие может дать синергетический эффект, потому что они могут повысить надежность, безопасность, эффективность и устойчивость транспортной системы. Однако все еще существуют проблемы, которые необходимо решить. В статье рассматриваются положительные и отрицательные факторы, возможные конфликты и риски расширения автономных автомобилей. Для выявления факторов, влияющих на безопасность дорожного движения, использовалась матрица Хэддона, дополненная группой факторов «информационная среда». Предотвратить несчастные случаи и уменьшить их серьезность можно только на основе многофакторного анализа информации, определяющей причины возникновения критических ситуаций. Это может быть реализовано с использованием таких возможностей, как On-Line Analytical Processing (OLAP) и Big Data, что позволяет учитывать различные группы рисков, например, качество алгоритмов, надежность связи при передаче данных, киберугрозы.

Ключевые слова: автономные транспортные средства, надежность, безопасность, анализ рисков, устойчивость транспортной системы, Haddon's Matrix, Big Data, OLAP

Макарова Ирина Викторовна, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем» ГОУ ВО РФ «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г.Набережные Челны.

E-mail: kamivm@mail.ru.

Makarova Irina Viktorovna, Doctor (Tech.), Professor, a head of the Chair «Transport Systems Service», State Educational Establishment of Higher Education of Russian Federation «Kazan State University», Naberezhnye Chelny.

E-mail: kamivm@mail.ru.

Пашкевич Антон, к.т.н., доцент кафедры транспортных систем, Краковский Политехнический Университет им. Тадеуша Костюшко, г. Краков, Польша.

E-mail: apashkevich@pk.edu.pl.

Pashkevich Anton, Ph.D. (Tech), Assistant Professor of the Department of Transportation Systems, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kosciuszki, Krakow, Poland.

E-mail: apashkevich@pk.edu.pl.

Шубенкова Ксения Андреевна, к.т.н., доцент кафедры «Сервис транспортных систем» ГОУ ВО РФ «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.
E-mail:ksenia.shubenkova@gmail.com.

Shubenkova Ksenia Andreevna, Ph.D. (Tech), Associate Professor of the Chair «Transport Systems Service», State Educational Establishment of Higher Education of

Russian Federation «Kazan State University», Naberezhnye Chelny.

E-mail:ksenia.shubenkova@gmail.com.

Рецензент: Кулаков Александр Тихонович, д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Статья подана 12.03.2019

УДК 629.11

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОБУСОВ В РОССИИ

Макарова И.В., Садыгова Г.Р.

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF ELECTRIC BUSES IN RUSSIA

Makarova I.V., Sadygova G.R.

В статье рассматриваются вопросы снижения загрязнения воздуха отработавшими газами от пассажирского транспорта, за счет использования транспортных средств с электроприводом. Проблемы развития различных видов электротранспорта. Проводится сравнительный анализ характеристик различных моделей электробусов, как зарубежных, так и российских. Показаны тенденции развития электробуса в ближайшем будущем в России.

Ключевые слова: электробус, экологичность, общественный транспорт, классификация

Введение. Изменение климата является одной из самых острых экологических проблем в мире на сегодня. Транспортный сектор является одним из крупнейших загрязнителей окружающей среды. В настоящее время транспортный сектор обеспечивает 22% всех выбросов CO₂, что составляет около 7 Гт. Из них 5 Гт приходится на легковой и грузовой автотранспорт. Из них 5 Гт приходится на легковой и грузовой автотранспорт (Рисунок 1).

В нашей стране по данным Министерства Природных Ресурсов и Экологии РФ 42% загрязнения атмосферы приходится на выбросы автотранспорта, а в крупных городах (Москва, Санкт-Петербург) до 80-90%. С выхлопом в атмосферу выбрасываются такие вредные вещества, как сернистые и азотистые соединения, углеводороды, CO, формальдегиды и т.д., что так же неблагоприятно сказывается на экологии. Это приводит к росту заболеваний дыхательных путей, аллергии, заболеваний кровеносной системы.

По статистике, 225 тысяч человек ежегодно умирает в Европе от заболеваний связанных с выхлопными газами. Кроме этого, из-за выбросов парниковых газов возрастает опасность глобального потепления.

Меры по сокращению выбросов, обязательства, принятые в соответствии с Киотским протоколом, и нестабильность цен на нефть заставляют страны внедрять альтернативные технологии, которые уменьшат зависимость от нефти.

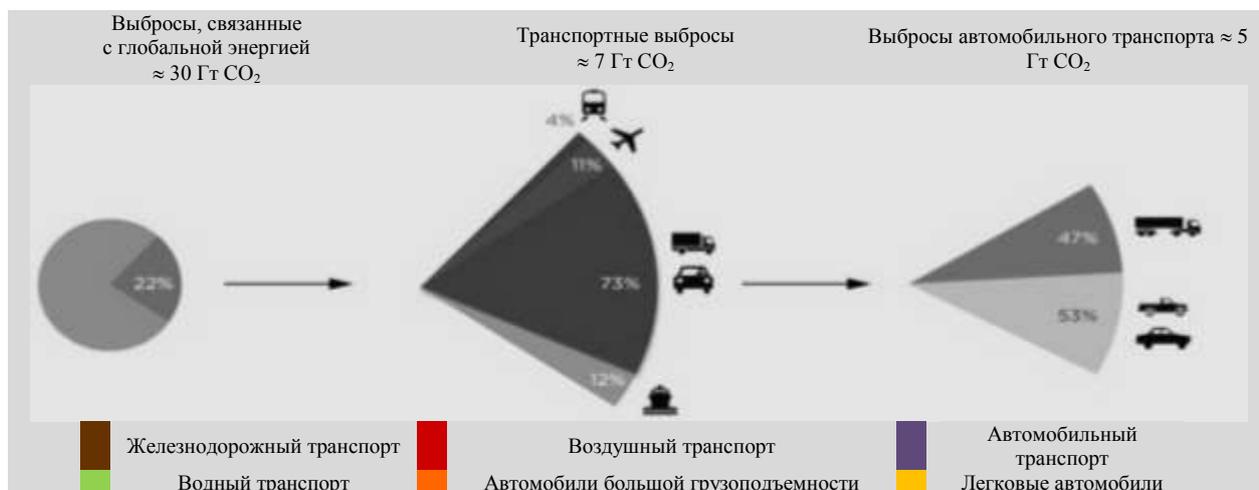


Рис. 1. Вклад транспортного сектора в глобальные выбросы CO₂

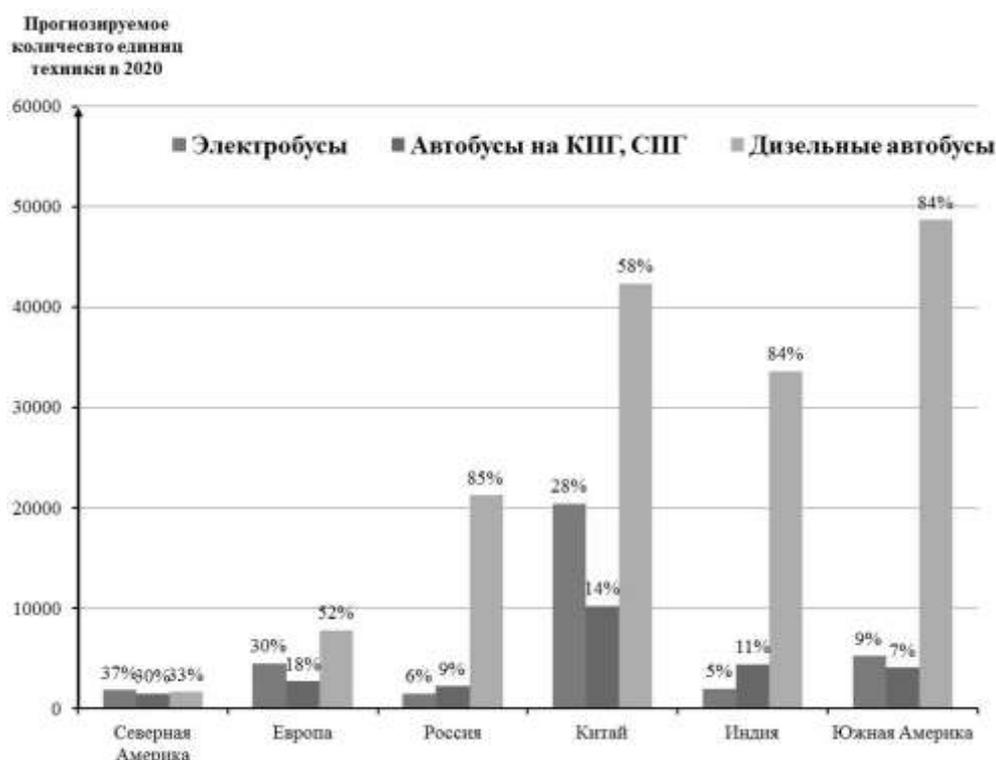


Рис. 2. Распределение предполагаемой доли рынка автобусов в 2020 году

Несмотря на значительные усилия по обеспечению соблюдения стандартов в целях сокращения выбросов, от традиционных двигателей внутреннего сгорания, прогнозируемые сокращения вряд ли будут соответствовать целевым показателям выбросов, предусмотренным Киотским протоколом [1]. В последние годы были введены в действие различные технологические решения, но нефть по-прежнему занимает львиную долю на транспортном рынке, а процент использования альтернативных технологий по-прежнему очень мал.

Для развития социальной и производственно-экономической сферы любого города важно нормальное функционирование городского пассажирского транспорта.

В связи с урбанизацией населения увеличивается нагрузка на общественный транспорт, неизбежно возникают проблемы, связанные с оказанием транспортных услуг населению [2].

Авторами работы [3] отмечено, что автобусы, как средство общественного транспорта, могут значительно уменьшить проблемы, связанные с загрязнением воздуха в условиях больших городов, в частности, благодаря использованию инновационных систем привода.

Развитие систем привода транспортных средств становится все более ориентированным на электрификацию силовых установок, что позволяет снизить выбросы вредных веществ, повысить суммарную эффективность транспортных средств, снизить потребление топлива и уровень шума, а

также в перспективе снизить расходы на его обслуживание.

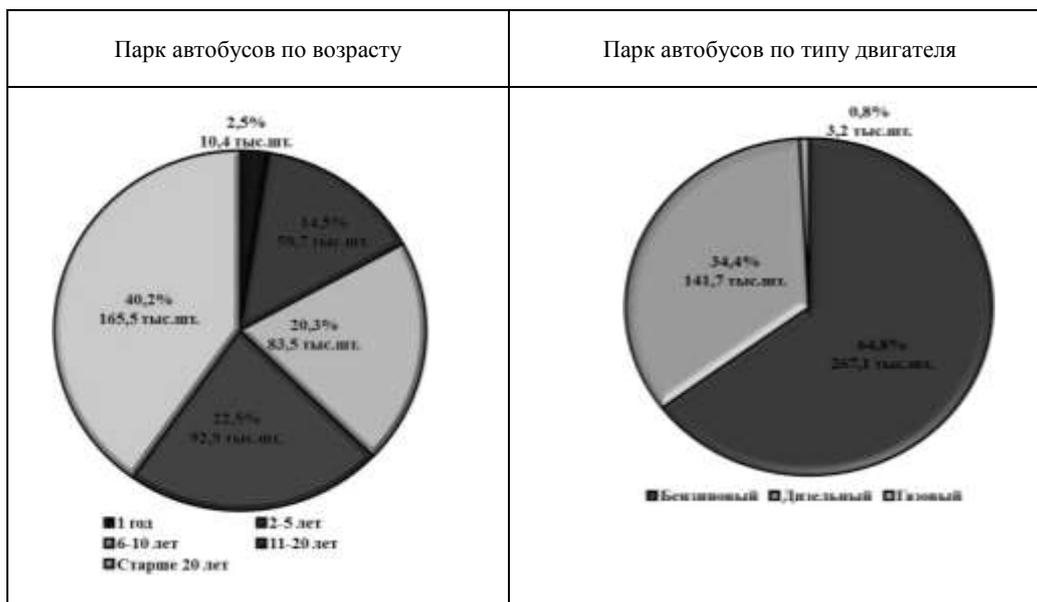
Развитие экологически чистого («зеленого») автотранспорта может положительно повлиять на решение проблем, связанных с загрязнением воздуха. Экологически чистым условно можно назвать транспорт, использующий альтернативные, по отношению к традиционно используемым в ДВС бензину и дизельному топливу, источники энергии, такие как: электричество – трамвай, троллейбус, электробус, электромобиль; водородное топливо – преобразование в электричество; биотопливо, биогаз; газомоторное топливо – применение природного газа для двигателей внутреннего сгорания; механическая энергия – велотранспорт. [4].

Условно экологическими средствами передвижения можно назвать те виды транспорта, которые минимизируют негативное воздействие на окружающую среду.

Особую роль в «озеленении» автомобильной промышленности играет, конечно же, электротранспорт. По экологическим показателям электромобили и электробусы безусловно имеют большие преимущества перед автомобилями и автобусами с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) из-за отсутствия выхлопных газов и низкого уровня шума. Кроме того, такой тип подвижного состава не имеет привязки к контактной сети, что дает преимущество перед троллейбусом. Электробусы более маневренны и не создают помех движению.

Таблица 1

Парк автобусов России на 01.07.2016г.



Тенденция рынка электробусов в мире и России.

По мнению авторов статьи [5], доля рынка электробусов в последние годы неуклонно растет. В 2012 году электробусы имели около 6% в мире. Эта доля распределяется между ключевыми игроками по всему миру, такими как Азиатско-Тихоокеанский регион, Европа и Америка. Распределение рынка электробусов показано рисунке 2.

Сегодня в России пассажирские перевозки осуществляются, в основном, автобусами, работающими на бензине, дизельном топливе или сжатом природном газе (метане). Электробусы перевозят всего около 1% пассажиров, однако, этот сегмент рынка является перспективным.

Классификация электробусов. В настоящее время на рынке внедрено несколько альтернативных систем привода транспортных средств. Каждый обладает определенными преимуществами, которые могут быть использованы для максимального сокращения выбросов. Однако выбор подходящей системы привода транспортных средств зависит от различных факторов, таких как: стоимость, структура сети и источник энергии [6].

В зависимости от конфигурации силовой установки электробусы могут иметь разную степень электрификации: гибридные (последовательные или параллельные) электробусы (Hybrid Electric Bus); электробусы на топливных элементах (Fuel Cell Electric Bus); электробусы на электроаккумуляторах (Battery Electric Bus) [7].

Все перечисленные выше электробусы приводятся в движение электромотором, при этом, основным отличием этих технологий является источник энергии, за исключением параллельного гибрида, поскольку в этом случае высоковольтная

батарея заряжается на ходу, когда электробус тормозит двигателем и электромотор работает в режиме рекуперации. На данный момент применяют два основных способа зарядки электробуса:

- проводной, по принципу троллейбуса, но не требующий постоянного контакта с электросетью для длительной работы;
- беспроводной, с использованием явления электромагнитной индукции [7].

На сегодняшний день все электробусы в мире классифицируются в зависимости от концепции зарядки батарей следующим образом (табл.2):

- электробусы с ночной/медленной зарядкой на территории парка;
- электробусы с зарядкой на конечных и промежуточных пунктах;
- электробусы с динамической подзарядкой во время движения по участку контактной сети троллейбуса.

Характеристики электробусов. Электробус объединяет экологичность троллейбуса, автономность и маневренность автобуса. В таблице 4 приведено сравнение технических характеристик электробуса и троллейбуса. Электробус сертифицирован по категории М3, это позволяет обычному водителю перевозить пассажиров. Ряд организаций в России проводят научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по электробусам. Развитие электробусов осуществляет компания «Лиотех», занимающаяся исследованиями в области энергетики и сотрудничающая с отечественными производителями автотранспорта, среди которых ЗАО «ТРОЛЗА», «МОБЭЛ» и ПАО «КАМАЗ».

Таблица 2

Классификация электробусов

		
Электробус с концепцией ночной медленной зарядки ONC (Overnight charging)	Электробус с концепцией ультрабыстрой зарядки на маршруте ОС (Opportunity charging)	Электробус с концепцией динамической зарядки во время движения IMC (In-motion charging)
Электробус заряжается в ночное время на станции медленной зарядки пистолетного типа (розетка), которая расположена на территории парка	Электробус заряжается на маршруте от станций ультрабыстрой зарядки, которые расположены на контрольных и промежуточных пунктах. Технические решения по зарядке: пистолетного типа (розетка), индуктивная зарядка, различные виды токосъема.	Электробус заряжается на маршруте и/или в парке, в процессе стоянки или движения, от участка контактной сети троллейбусов. Не требует сложной конфигурации контактных сетей. В «простонародье» данный электробус называют «троллейбус с автономным ходом»

Таблица 3

Сравнение электробусов с проводной зарядкой, находящихся в эксплуатации

Производитель	Модель	Способ зарядки	Макс. скорость км/ч	Вместимость, чел.	Тип аккумулятора	Мощность, кВт	Запас хода, км	Скорость зарядки
BYD eBus (Китай)	K9	Зарядная станция	96	32	LFP	180	250	3-6 часов
Drive Electro (Россия)	НефАЗ-52992	Зарядная станция и бортовое зарядное устройство	70	110	LFP	150	250	8-6 часов (30 минут от сети 500 кВт)
Drive Electro (Россия)	КамАЗ-2257Э	Провода и зарядная станция	95	22	LTO	78	70	6-20 минут
Proterra (США)	Catalyst FC	Зарядная станция	105	77	LTO	220	320	90 минут
Škoda (Чехия)	PERUN HP	Зарядная станция	70	82	Li-Pol	160	150	70 минут
Volvo (Швеция)	Volvo 7900 Electric	Зарядная станция	-	105	Li-Ion	160	10-20	~6 минут
«МОБЭЛ» (Россия)	ЛиАЗ-6274	Провода и зарядная станция	80	90	Li-Ion	180	200	6,5 часов
«Санрайз» (Украина)	Богдан А091	Провода и зарядная станция	80	45	LFP	120	250	4-10 часов

Заключение. Роль электробусов в общественном транспорте важна с точки зрения сокращения выбросов, приводящих к изменению климата и необратимых последствий использования ископаемых видов топлива. Но для быстрого развития данного направления необходимо решить следующие вопросы:

1) Продолжить научные исследования в области создания более энергоёмкой, дешевой в

производстве, безопасной и компактной аккумуляторной батареи;

2) Определить единый типаж электробусов с целью оптимизации компоновки кузова и изучения возможностей рационального использования данных транспортных средств;

3) Решить вопросы создания разветвленной сети зарядных станций, без которой эксплуатация транспортных средств с АКБ невозможна. Создание такой сети требует тщательного планирования

размещения зарядных станций с привязкой к уже существующей инфраструктуре города. Зарядные станции должны быть доступными, вместительными для одновременного обслуживания как минимум нескольких транспортных средств;

4) Разработать порядок работы заправочных станций, установить тарифы на зарядку, определить рациональное расположение зарядного оборудования и мест для отстоя транспортных средств.

Л и т е р а т у р а

1. Garcia SanchezJA, Lopez MartinezJM, Lumbreras MartinJ, Flores Holgado MN, Aguilar Morales H. Impact of Spanish electricity mix, over the period 2008-2030, on the life Cycle energy consumption and GHG emissions of electric, hybrid diesel-electric, fuel cell hybrid and diesel bus of the Madrid transportation system. Energy Conversion and Management. 2013;74:332-43.

2. Гузенко А.В.. Развитие городского пассажирского транспорта мегаполиса: проблемы и перспективы. Статья представлена научной редакцией «Экономика» 3 марта 2009 г, С. 45.

3. Электробусы от КАМАЗа [Электронный ресурс]: <http://www.unionexpert.ru/index.php/zhurnal-qekspertnyj-soyuzq-osnova/zhurnal-qehkspertnihyj-soyuzq-20-2016g/item/1511-elektrobussy-ot-kamaza>. Дата обращения: 09.02.2018.

4. Гатиятов И.З., Павлов П.П., Шамсутдинов Э.В. Внедрение автономного электрического транспорта: перспективы и проблемы // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы. Материалы IV международной научно-практической конференции. 2016, С. 154-158

5. Frost, Sullivan. Strategic analysis of global hybrid and electric heavy-duty transit bus market (NC7C-01). New York: Frost & Sullivan Publication; 2013.

6. Miles J, Potter S. Developing a viable electric bus service: the Milton Keynes demonstration project. Res Transp. Econ 2014.

7. Иванов О.Н., Листов Н.О., Остроух А.В. Исследование технических характеристик электробусов, как перспективных видов наземного пассажирского транспорта // Международный журнал перспективных исследований, Т. 7, № 4-2, 2017, С. 29-48.

R e f e r e n c e s

1. Garcia SanchezJA, Lopez MartinezJM, Lumbreras MartinJ, Flores Holgado MN, Aguilar Morales H. Impact of Spanish electricity mix, over the period 2008-2030, on the life Cycle energy consumption and GHG emissions of electric, hybrid diesel-electric, fuel cell hybrid and diesel bus of the Madrid transportation system. Energy Conversion and Management. 2013;74:332-43.

2. Guzenko A.V. Razvitie gorodskogo passazhirskogo transporta megapolisa: problemy i perspektivy. Stat'ja predstavlena nauchnoj redakciej «Jekonomika» 3 marta 2009 g, S. 45.

3. Jelektrobussy ot KAMAZa [Jelektronnyj resurs]: <http://www.unionexpert.ru/index.php/zhurnal-qekspertnyj-soyuzq-osnova/zhurnal-qehkspertnihyj-soyuzq-20-2016g/item/1511-elektrobussy-ot-kamaza>. Data obrashhenija: 09.02.2018.

4. Gatijatov I.Z., Pavlov P.P., Shamsutdinov Je.V. Vnedrenie avtonomnogo jelektricheskogo transporta: perspektivy i problemy // Sovremennye problemy bezopasnosti zhiznedejatel'nosti: intellektual'nye transportnye sistemy Materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2016, S. 154-158.

5. Frost, Sullivan. Strategic analysis of global hybrid and electric heavy-duty transit bus market (NC7C-01). New York: Frost & Sullivan Publication; 2013.

6. Miles J, Potter S. Developing a viable electric bus service: the Milton Keynes demonstration project. Res Transp. Econ 2014.

7. Ivanov O.N., Listov N.O., Ostrouh A.V. Issledovanie tehnicheskikh harakteristik jelektrobussov, kak perspektivnyh vidov nazemnogo passazhirskogo transporta // Mezhdunarodnyj zhurnal perspektivnyh issledovanij, T. 7, № 4-2, 2017, S. 29-48.

Makarova I. V., Sadygova G. R. PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF ELECTRIC BUSES IN RUSSIA

This article deals with the reduction of air pollution by exhaust gases from passenger transport, through the use of vehicles with electric drive. Problems of development of different types of electric transport. The author conducted a comparative analysis of various electric bus models specifications, both foreign and Russian. The development trends of the electric bus in the near future are shown in Russia.

Keywords: electric bus, ecological compatibility, public transportation, classification

Макарова Ирина Викторовна, д.т.н, профессор, профессор кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.
E-mail: kamIVM@mail.ru

Makarova Irina Viktorovna, Doctor (Tech.), Professor, Professor of the Department "Service of transport systems", Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny
E-mail: kamIVM@mail.ru

Садыгова Гульназ Рашидовна, старший преподаватель кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.
E-mail: sadygova_1988@mail.ru

Sadygova Gulnaz Rashidovna, Senior teacher of department "Service of transport systems ", Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny
E-mail: sadygova_1988@mail.ru

Рецензент: Кулаков Александр Тихонович, д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.

Статья подана 2.02.2019

УДК 656.11

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Макарова И.В., Буйвол П.А., Якупова Г.А., Мухаметдинов Э.М.

DEVELOPMENT OF ROAD SAFETY MANAGEMENT TECHNIQUE

Makarova I.V., Buyvol P.A., Yakupova G.A., Mukhametdinov E. M.

В статье описаны основные методы классификации факторов, влияющих на безопасность дорожного движения. Также проведен анализ известных методов и подходов выявления значимости факторов. В том числе рассмотрены матрица Хеддона, статистический и вероятностный методы, а также методы, основанные на применении экспертных систем. Предложена методика управления безопасностью дорожного движения, включающая построение дерева факторов, влияющих на вероятность возникновения и степень тяжести дорожно-транспортного происшествия, и алгоритм управления на основе обратной связи.

Ключевые слова: Безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, факторы, методы.

Введение. Изучение причин возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) всегда актуально, и является одной из главных задач для любой развитой или развивающейся страны. Россия перед своей государственной инспекцией по безопасности дорожного движения (ГИБДД) ставит задачу по достижению минимальной смертности на дорогах. Для достижения данной цели в начале 2018 года была принята стратегия безопасности дорожного движения (БДД) в России до 2024 года [1]. По окончании срока действия программы смертность на дорогах страны должна снизиться до 20 тысяч человек в год. Также принят показатель социального риска, который должен составить не более четырех погибших на 100 тысяч населения. В Швеции, где поставлена задача достижения нулевой смертности [2, 3], и Великобритании показатели смертности не превышают 3 человек на 100 тысяч населения [4], в среднем по странам ЕС этот показатель не превышает 5,5 человек на 100 тысяч населения [5].

Целью данной работы является анализ факторов, влияющих на вероятность возникновения и степень тяжести ДТП, а также разработка алгоритма управления системой БДД.

Существующие системы классификации факторов. Для решения проблемы БДД важно

выявить наиболее существенные факторы, вызывающие риски аварий на дорогах, и применить действенные методы по их нивелированию. Согласно концепции, разработанной в МАДИ, ДТП является результатом взаимодействия совокупности элементов: «водитель - автомобиль - дорога – среда» - «В-А-Д-С». [6-10]. Поэтому основными принято считать факторы, относящие к водителю транспортного средства, самому транспортному средству, дороге и внешней среде. Однако при таком подходе не учитываются действия пешеходов как непосредственных участников движения, в то время как именно пешеходы в значительной части ДТП становятся жертвами и в различных отчетах по БДД отмечаются как одни из самых незащищенных участников движения. Следует отметить, что весомость каждого элемента неоднозначна. Как отмечается в [11] наибольшее количество аварий происходит по вине водителя, в связи с чем проблему БДД необходимо решать, начиная, прежде всего, с человеческого фактора.

Многие исследователи выделяют следующие человеческие факторы, в том числе повлекшие нарушение ПДД, как самим водителем, так и другими участниками ДТП: невнимательность, неопытность водителей (стаж вождения); усталость, утомляемость, стресс, болезнь (возраст водителя); употребление алкоголя и наркотиков водителями; плохая информированность; низкий уровень интеллекта; психологическое состояние и социальный статус водителя [12]. Как следствие невысокого уровня интеллекта и социологического статуса участников ДТП появляются конфликты на дорогах. «Конфликтное поведение на дороге – это реализация стремления получить преимущество, пренебрегая интересами других участников дорожного движения и предписаниями правовых норм в области безопасности дорожного движения. Минимизация проявления конфликтов на дороге является одной из важных задач в области обеспечения БДД [13]. К факторам, связанным с транспортным средством относят сам автомобиль, его модель, марку, размеры и массу, мощность

двигателя и скоростные характеристики, техническое состояние и оборудование транспортных средств. Эксплуатация автомобиля с большим пробегом, или находящегося в плохом техническом состоянии, когда ресурс многих систем и механизмов практически исчерпан, приводит к необратимым последствиям на дорогах. Следующий элемент - дорога - содержит свои определенные параметры, к которым относят: ширину проезжей части, конфигурацию в плане и профиле, состояние покрытия, границы. Как отмечено в [8]: «Обустройство дороги и уровень организации дорожного движения могут облегчать или затруднять работу водителя, тем самым, оказывать прямое влияние на его надежность.»

Факторы, относящиеся к внешней среде, влияющие на риск ДТП, включают в себя время суток (чаще всего это темное время суток и час пик), неблагоприятные погодные условия (дождь, снег, слякоть, туман, ветер и т.д.), опасное состояние дорожного покрытия (гололед), перегруженность дороги транспортными средствами, проведение дорожно-ремонтных работ. Все факторы так или иначе взаимосвязаны между собой. Каждый фактор может повысить как вероятность ДТП, так и тяжесть его последствий, оказывая высокую эмоциональную нагрузку на психику человека, вызывая необходимость немедленного принятия решений в опасных ситуациях на дороге.

Для большинства факторов внешней среды характерны природные, не зависящие от человека свойства, однако, они могут усугубить ситуацию, в то время как роль человека, принимающего решение во время движения, остается наиболее значимой. «Человек в системе управления является наиболее важным и одновременно менее надежным звеном. Он легко отвлекается, сравнительно быстро утомляется, его поведение подвержено влиянию очень многих непредсказуемых факторов, и поэтому он не может безошибочно выполнять работу в течение продолжительного времени» - утверждает автор статьи [11]. Поэтому многие исследователи предлагают уделять большее внимание обучению и психологической подготовке водителя, ужесточению и увеличению мер наказания при нарушении ПДД, как самого водителя, так и других участников ДТП, а также целому ряду других мероприятий по снижению влияния человеческого фактора на количество потенциально опасных дорожно-транспортных ситуаций.

Некоторые исследователи придерживаются других систем классификации факторов. Например, автор работы [14] выделяет две группы причин, оказывающих влияние на БДД: объективные и субъективные. К первой группе он относит «состояние дорожно-транспортной инфраструктуры (качество дорожного покрытия, разметки, освещенность, протяженность дорог, состояние улично-дорожной сети, парковочных мест и т. д.) и

состояние самих транспортных средств (уровень износа, уровень пассивной безопасности и т. д.)». Вторая группа факторов, по мнению автора, включает в себя «уровень транспортной и профессиональной (соблюдение регламента, дисциплины) культуры водителей (употребление алкоголя при управлении транспортным средством), пешеходов (переход в неполюженном месте), опыт и мастерство водителей (стаж вождения), сотрудников ГИБДД, уровень знаний правил дорожного движения, психологические качества (быстрота реакции, внимание и т. д.)». Другие эксперты в сфере БДД, в том числе зарубежные, выделяют три блока причин и факторов ДТП. К первому блоку относятся причины и факторы, которые очевидны и легко обнаруживаются при статистическом, поверхностном анализе ДТП; ко второму блоку – причины и факторы ДТП, которые появляются при более детальном рассмотрении процессов в системе БДД; к третьему блоку – блок трудных причин и факторов ДТП, для которых необходим более тщательный и комплексный анализ [15].

Для корректировки факторов, влияющих на ДТП, исследователями предложены определенные меры и методы. Одним из наиболее известных и распространенных методов является Матрица Хэддона. Этот метод считают классическим относительно разбиения важности факторов риска ДТП. Согласно этой модели, выделяются три фазы ДТП (до его возникновения, в процессе и после) и три группы факторов: особенности личности человека (участника движения), характеристики транспортного средства и окружающей среды (например, состояние дорожного покрытия) [16]. Эта модель является аналитическим инструментом, выявляющая все факторы, относящиеся к ДТП. После выявления множественных факторов, они обязательно анализируются, затем предлагаются меры противодействия и приоритетность их реализации в краткосрочном и долгосрочном периоде. Матрица Хэддона была усовершенствована и доработана исследователями разных областей деятельности. Как отмечено в [17] «подход, предложенный Хэддоном, позволил добиться существенного прогресса в понимании факторов, связанных с поведением водителя, характеристиками транспортного средства и состоянием дорожной инфраструктуры, которые влияют на возникновение ДТП и тяжесть последствий для их участников».

Существующие методы оценки важности факторов. Чаще всего в практике анализа БДД исследователи ограничиваются изучением динамики и структуры аварийности по различным показателям. Как правило, это два типа показателей - статистические и вероятностные. Статистические показатели выражаются физическими величинами или отношением этих величин, получаемых по статистическим данным. Их главное достоинство -

объективность. Вероятностные показатели вычисляются методами теории вероятностей. Здесь ДТП понимается как возможный исход конкретного дорожного движения, и рассматривается как случайное событие в силу случайности возникновения во времени и пространстве движения неблагоприятных факторов, вызывающих его. Вероятностные методы позволяют отработать требования к уровню БДД для разрабатываемого автотранспортного средства на основании опыта эксплуатации прототипа. [16, 18-20]

Именно статистическому анализу отводится наиболее важная роль в обеспечении безопасности дорожного движения. Однако, как считают авторы [16, 18-20], статистические показатели имеют недостатки, компенсируемые вероятностными показателями, которые позволяют решать многие задачи. А именно, «оценить влияние на безопасность дорожного движения отдельного неблагоприятного фактора или некоторой совокупности неблагоприятных факторов; отработать требования к уровню безопасности дорожного движения для разрабатываемого автотранспортного средства на основании опыта эксплуатации прототипа; определять соответствие фактического уровня безопасности дорожного движения заданному; оценивать эффективность мероприятий, направленных на повышение безопасности дорожного движения, еще до их практической реализации и другие».

Для предупреждения дорожно-транспортных ситуаций при решении задачи своевременного выявления внешних и внутренних факторов безопасности современных автомобильных транспортных средств, авторами [21,22] предлагается синергетический метод. Согласно синергетическому подходу эффективное управление сложными нелинейными системами, состоящими из многих подсистем (преимущественно одинаковых), может быть достигнуто путем целевого воздействия на процессы самоорганизации в таких системах [22, 23]. Самоорганизация в данном случае - это «процесс упорядочения элементов одного уровня в системе за счет внутренних факторов, без внешнего специфического воздействия».

Автором работ [24,25] предложены методы, основанные на применении экспертных систем. Выделяются три класса безопасности движения: «класс, в котором безопасность движения зависит от дорожных условий; класс потенциальных опасностей на конфликтных объектах (перекрестках, тротуарах и переходах), сформированный на основании наблюдения, анализа и оценки специалистами-экспертами; и класс потенциальных опасностей, регулируемых локальными, нормативными и законодательными актами.» Для первого класса используется метод прогнозирования, основой которого являются статистические данные ДТП. Для второго класса предлагается метод конфликтных ситуаций,

предназначенный для предупреждения дорожно-транспортных происшествий. «Суть метода сводится к выявлению и оценке опасных мест на дорогах, анализу факторов, влияющих на аварийную ситуацию и разработке мероприятий по их устранению. Метод базируется на предпосылке, что до того, как произойдет ДТП, опасные ситуации возникают неоднократно. Метод конфликтных ситуаций дает прогноз по совокупности факторов, влияющих на аварийность.» Для последнего класса автором предлагается и описывается методика разработки автоматизированной системы принятия решений при управлении безопасностью. «Особенностью методики является то, что принятие решений полностью возложено на экспертную систему.»

Результаты исследований. На основе систематизации информации о выделяемых исследователями группах и видах факторов, а также принимая во внимание деление ДТП на три фазы, нами было построено дерево факторов, влияющих на вероятность возникновения и степень тяжести ДТП (рисунок 1). Кроме деления факторов на группы, соответствующие составным элементам динамической системы «водитель – пассажир – транспортное средство – дорога – среда – транспортный поток» - «В-П-ТС-Д-С-ТП», нужно также классифицировать их в соответствии с понятиями активной и пассивной безопасности. Активная безопасность – это свойства, препятствующие возникновению дорожно-транспортного происшествия. Снижение увечий, получаемых во время ДТП, обеспечивается мерами повышения пассивной безопасности. Следует также выделить факторы, на которые повлиять невозможно вследствие объективных причин (время суток, состояние погоды). Для оставшихся факторов следует согласно третьей фазе ДТП по матрице Хэддона, искать пути снижения рисков возникновения ДТП и тяжести их последствий.

Для оценки эффективности мероприятий по реконструкции дорожной инфраструктуры, превентивных или регулятивных мер, модернизации конструкции транспортных средств принимаемых решений предлагается алгоритм, представленный на рисунке 2. Для этого необходимо выделение среди всего множества тех факторов, которые наиболее сильно влияют на вероятность возникновения и степень тяжести ДТП, а затем повторный расчет количественных критериев оценки тяжести ДТП в следующем периоде. При этом, принятие и оценка эффективности мер, воздействующих на выделенные факторы, позволит снизить человеческие потери.

Выводы. В данном исследовании был выполнен анализ факторов с точки зрения их влияния на вероятность возникновения и степень тяжести ДТП. Чтобы содействовать процессу принятия решений, необходимо выявить взаимосвязи между количеством и последствиями

дорожно-транспортных происшествий и основаниии обратной связи: необходимо вызвавшими их факторами, базируясь на анализе анализировать, как принятие тех или иных законов и статистических данных. Оценка эффективности прочих мер влияет на статистику ДТП. принятых решений должна осуществляться на

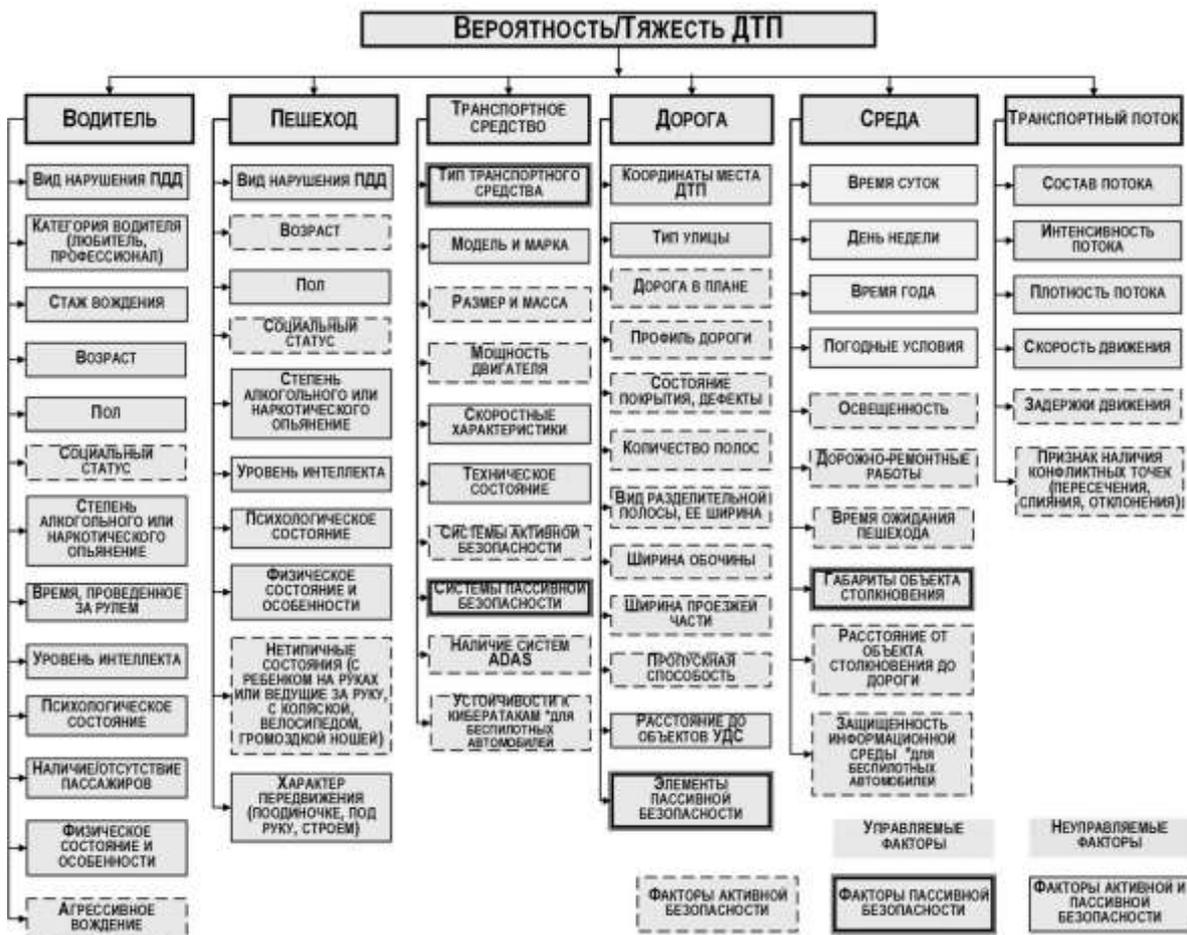


Рис. 1. Дерево факторов ДТП



Рис. 2. Алгоритм повышения БДД

Л и т е р а т у р а

1 Об утверждении Стратегии безопасности дорожного движения. Распоряжение от 8 января 2018 года №1-р. URL: <http://government.ru/docs/31102/>. Дата обращения: 22.01.2019.

2 Что такое Vision Zero. Кратко и лаконично. URL: <http://transspot.ru/2018/05/10/chto-takoe-vision-zero-kratko-i-lakonichno/>. Дата обращения: 10.01.2019.

3 Vision Zero — политика инноваций в дорожной безопасности. URL: https://city4people.ru/post/blog_646.html. Дата обращения: 10.01.2019.

4 Донченко, Д. С. Обзор подходов к применению алгоритмов искусственного интеллекта для выявления факторов, влияющих на риск возникновения ДТП / Д. С. Донченко, Н. П. Садовникова, Д. С. Парыгин // Вестник Воронежского ин-та высоких технологий. - 2018. - № 4 (27). - С. 54-57.

5 Обнулить смертность: как работает шведская концепция Vision Zero? URL: http://www.aif.ru/auto/safety/obnudit_smertnost_kak_rabotaet_shvedskaya_koncepciya_vision_zero. Дата обращения: 10.01.2019.

6 Гатиятуллин М.Х., Николаева Р.В. Влияние уровня аварийности в г. Казани на общую тенденцию аварийности в республике / М.Х. Гатиятуллин, Р.В. Николаева // Вестник НЦ БЖД - 2010. - № 5. - с.70 - 76.

7 Кириленко С.Н. Некоторые составляющие безопасности дорожного движения / С.Н. Кириленко // Наука и практика. - 2014. - № 4 (61). - с.38 - 41.

8 Маткеримов Т.А., Кадыров Э.Т. Безопасность дорожного в пригороде в контексте системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» / Т.А. Маткеримов, Э.Т. Кадыров // Бишкек: Вестник КГУСТА. - 2016. - № 1(51). - с. 336 - 342.

9 Пугачев И.Н., Горев А.Э., Олещенко Е.М. Организация и безопасность дорожного движения: Учеб. пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2009.

10 Сашко А.А., Воробьев А.М., Чернышев А.К., Ситко Л.А. Сравнительная оценка факторов риска при дорожно-транспортных происшествиях / А.А. Сашко, А.М. Воробьев, А.К. Чернышев, Л.А. Ситко // Медицина в Кузбассе. - 2011. - № 2, Т. 10. - с.22 - 25.

11 Николаева Р.В. Влияние человеческого фактора на безопасность дорожного движения / Р.В. Николаева // Вестник НЦ БЖД - 2016. - № 1 (27). - с.56 - 62.

12 Войтенко Е.А. Актуальные проблемы в сфере безопасности дорожного движения и возможные организационно-правовые пути их решения / Е.А. Войтенко // Юридический мир - 2010. - №8. - с. 48 - 52.

13 Безруков Д.А., Войтенков Е.А. Основные социально-психологические черты конфликтов в дорожном движении и их особенности / Д.А. Безруков, Е.А. Войтенков // Юридическая психология. - 2011. - № 1.

14 Абдульязов А.Р. Факторы, влияющие на безопасность дорожного движения в регионе / А.Р. Абдульязов // Регионология Regionology - 2017. - Т.25, № 4 - с.642 - 655.

15 Олещенко Е.М. Варианты прогнозируемого развития системы обеспечения безопасности дорожного движения мегаполиса (на примере Санкт-Петербурга) / Е.М. Олещенко // Современные проблемы науки и образования - 2012. - №3. - с.1 - 9.

16 Касимов Р.Ф., Чепурных Н.К. Факторы, влияющие на возникновение дорожно-транспортных

происшествий / Р.Ф. Касимов, Н.К. Чепурных // Актуальные вопросы транспортной безопасности: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции - 2017г.

17 Фаттахов Т. Дорожно-транспортный травматизм в России и факторы его возникновения / Фаттахов Т. // Электронный научный журнал «Социальные аспекты здоровья населения»: ISSN 2071-5021 Эл№ФС77-28654, <http://vestnik.mednet.ru>

18 Кузьмин А.В. Расчет рисков совершения дорожно-транспортного происшествия по условному среднему показателю вероятности / А.В. Кузьмин // Качество и жизнь - 2016. - №3 (11).

19 Павлова В.А. Субъективные и объективные факторы обеспечения безопасности дорожного движения / В.А. Павлова // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство - 2017. - с.111 - 115.

20 Христофоров Е.Н., Сакович Е.Н., Никуллин В.В., Никитин А.М. Методы расчета вероятностных показателей безопасности дорожного движения / Е.Н. Христофоров, Е.Н. Сакович, В.В. Никуллин, А.М. Никитин // Мир транспорта и технологических машин - 2014. - № 4 (47). - с. 115-124.

21 Дубовский В.А., Савченко В.В., Крупок А.Д. Алгоритм предупреждения кризисных дорожно-транспортных ситуаций / В.А. Дубовский, В.В. Савченко, А.Д. Крупок // Перспективы развития транспортного комплекса: материалы IV Международной заочной научно-практической конференции. - 2018. - с. 84 - 90.

22 Колесников, А.А. Синергетическая теория управления: концепции, методы, тенденции развития / А.А. Колесников // Известия ТРТУ. - 2001. - № 5 (23). - С.7-27.

23 Haken, H. How to modify psychopathological states? Hypotheses based on complex systems theory / H. Haken, W. Tschacher // Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences. - 2017. - Vol. 21., No. 1. - P. 19 - 34.

24 Банушкина Н.А. Методика разработки экспертных систем управления безопасностью дорожного движения в населенных пунктах / Н.А. Банушкина // Известия Алт. гос. ун-та. - 2015. - № 1/2 (85). - с. 91 - 95.

25 Банушкина Н.А. Особенности разработки экспертных систем в зависимости от класса объектов / Н.А. Банушкина // Известия Алт. гос. ун-та. - 2011. - № 2/2 (69).

References

1. Ob utverzhdenii Strategii bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija. Rasporyazhenie ot 8 janvarja 2018 goda №1-r. URL: <http://government.ru/docs/31102/>. Data obrashhenija: 22.01.2019.

2. Chto takoe Vision Zero. Kratko i lakonichno. URL: <http://transspot.ru/2018/05/10/chto-takoe-vision-zero-kratko-i-lakonichno/>. Data obrashhenija: 10.01.2019.

3. Vision Zero — politika innovacij v dorozhnoj bezopasnosti. URL: https://city4people.ru/post/blog_646.html. Data obrashhenija: 10.01.2019.

4. Donchenko, D. S. Obzor podhodov k primeneniju algoritmov iskusstvennogo intellekta dlja vyjavlenija faktorov, vlijajushih na risk vozniknovenija DTP / D. S. Donchenko, N. P. Sadovnikova, D. S. Parygin // Vestnik Voronezhskogo in-ta vysokih tehnologij. - 2018. - № 4 (27). - S. 54-57.

5. Obnudit' smertnost': kak rabotaet shvedskaja koncepcija Vision Zero? URL: http://www.aif.ru/auto/safety/obnudit_smertnost_kak_rabotaet

_shvedskaya_koncepciya_vision_zero. Data obrashhenija: 10.01.2019.

6. Gatijatullin M.H., Nikolaeva R.V. Vlijanie urovnja avarijnosti v g. Kazani na obshhuju tendenciju avarijnosti v respublike / M.H. Gatijatullin, R.V. Nikolaeva // Vestnik NC BZhd - 2010. - № 5. - s.70 - 76.

7. Kirilenko S.N. Nekotorye sostavljajushhie bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija / S.N. Kirilenko // Nauka i praktika. - 2014. - № 4 (61). - s.38 - 41.

8. Matkerimov T.A., Kadyrov Je.T. Bezopasnost' dorozhnogo v prigorode v kontekste sistemy «voditel'-avtomobil'-doroga-sreda» / T.A. Matkerimov, Je.T. Kadyrov // Bishkek: Vestnik KGUSTA. - 2016. - № 1(51). - s. 336 - 342.

9. Pugachev I.N., Gorev A.Je., Oleshhenko E.M. Organizacija i bezopasnost' dorozhnogo dvizhenija: Ucheb. posobie. M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2009.

10. Sashko A.A., Vorob'ev A.M., Chernyshev A.K., Sitko L.A. Sravnitel'naja ocenka faktorov riska pri dorozhno-transportnyh proisshestvijah / A.A. Sashko, A.M. Vorob'ev, A.K. Chernyshev, L.A. Sitko // Medicina v Kuzbasse. - 2011. - № 2, T. 10. - s.22 - 25.

11. Nikolaeva R.V. Vlijanie chelovecheskogo faktora na bezopasnost' dorozhnogo dvizhenija / R.V. Nikolaeva // Vestnik NC BZhd - 2016. - № 1 (27). - s.56 - 62.

12. Vojtenko E.A. Aktual'nye problemy v sfere bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija i vozmozhnye organizacionno-pravovye puti ih reshenija / E.A. Vojtenko // Juridicheskij mir - 2010. - №8. - s. 48 - 52.

13. Bezrukov D.A., Vojtenkov E.A. Osnovnye social'no-psihologicheskie cherty konfliktov v dorozhnom dvizhenii i ih osobennosti / D.A. Bezrukov, E.A. Vojtenkov // Juridicheskaja psihologija. - 2011. - № 1.

14. Abdul'zjanov A.R. Faktory, vlijajushhie na bezopasnost' dorozhnogo dvizhenija v regione / A.R. Abdul'zjanov // Regionologija Regionology - 2017. - T.25, № 4 - s.642 - 655.

15. Oleshhenko E.M. Varianty prognoziruemogo razvitija sistemy obespechenija bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija megapolisa (na primere Sankt-Peterburga) / E.M. Oleshhenko // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija-2012. - №3. - s.1 - 9.

16. Kasimov R.F., Chepurnyh N.K. Faktory, vlijajushhie na vznikovenie dorozhno-transportnyh proisshestvij / R.F. Kasimov, N.K. Chepurnyh // Aktual'nye voprosy transportnoj bezopasnosti: sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii - 2017g.

17. Fattahov T. Dorozhno-transportnyj travmatizm v Rossii i faktory ego vznikovenija / Fattahov T. // Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Social'nye aspekty zdorov'ja naselenija»: ISSN 2071-5021 Jel№FS77-28654, <http://vestnik.mednet.ru>

18. Kuz'min A.V. Raschet riskov sovershenija dorozhno-transportnogo proisshestvija po uslovnomu srednemu pokazatelju verojatnosti / A.V. Kuz'min // Kachestvo i zhizn' - 2016. - №3 (11).

19. Pavlova V.A. Subektivnye i obektivnye faktory obespechenija bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija / V.A. Pavlova // Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'stvo - 2017. - s.111 - 115.

20. Hristoforov E.N., Sakovich E.N., Nikullin V.V., Nikitin A.M. Metody rascheta verojatnostnyh pokazatelej bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija / E.N. Hristoforov, E.N. Sakovich, V.V. Nikullin, A.M. Nikitin // Mir transporta i tehnologicheskij mashin - 2014. - № 4 (47). - s. 115-124.

21. Dubovskij V.A., Savchenko V.V., Krupok A.D. Algoritm preduprezhdenija krizisnyh dorozhno-transportnyh situacij / V.A. Dubovskij, V.V. Savchenko, A.D. Krupok // Perspektivy razvitija transportnogo kompleksa: materialy IV Mezhdunarodnoj zaochnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. - 2018. - s. 84 - 90.

22. Kolesnikov, A.A. Sinergeticheskaja teorija upravlenija: koncepcii, metody, tendencii razvitija / A.A. Kolesnikov // Izvestija TRTU. - 2001. - № 5 (23). - S.7-27.

23. Haken, H. How to modify psychopathological states? Hypotheses based on complex systems theory / H. Haken, W. Tschacher // Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences. - 2017. - Vol. 21., No. 1. - P. 19 - 34.

24. Banushkina N.A. Metodika razrabotki jekspertnyh sistem upravlenija bezopasnost'ju dorozhnogo dvizhenija v naselennyh punktah / N.A. Banushkina // Izvestija Alt. gos. un-ta. - 2015. - № 1/2 (85). - s. 91 - 95.

25. Banushkina N.A. Osobennosti razrabotki jekspertnyh sistem v zavisimosti ot klassa ob'ektov / N.A. Banushkina // Izvestija Alt. gos. un-ta. - 2011. - № 2/2 (69).

Makarova I.V., Buyvol P.A., Yakupova G.A., Mukhametdinov E. M.

DEVELOPMENT OF ROAD SAFETY MANAGEMENT TECHNIQUE

The article describes the main methods of classifying factors affecting road safety. The analysis of known methods and approaches to identify the significance of factors was carried out. This includes the Haddon matrix, statistical and probabilistic methods, as well as methods based on the use of expert systems. A method of managing road safety, including building a tree of factors influencing the probability of occurrence and the severity of a traffic accident, and a control algorithm based on feedback, has been proposed.

Keywords: road safety, traffic accident, factors, methods.

Макарова Ирина Викторовна, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем» ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г.Набережные Челны.
E-mail: kamivm@mail.ru.

Makarova Irina Viktorovna, Doctor (Tech.), Professor, a head of the Chair «Transport Systems Service», Federal State Autonomous Educational Establishment Of Higher Education «Kazan State University», Naberezhnye Chelny.
E-mail: kamivm@mail.ru.

Буйвол Полина Александровна, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем» ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г.Набережные Челны
E-mail: skyeyes@mail.ru.

Buyvol Polina Alexandrovna, Ph.D. (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Chair «Transport Systems Service», Federal State Autonomous Educational Establishment Of Higher Education «Kazan State University», Naberezhnye Chelny.
E-mail: skyeyes@mail.ru.

Якупова Гульнара Анваровна, ст. преподаватель кафедры «Математика» ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г.Набережные Челны.

E-mail: math8@mail.ru.

Yakupova Gulnara Anvarovna, Senior Lecturer of the Chair «Maths», Federal State Autonomous Educational Establishment Of Higher Education «Kazan State University», Naberezhnye Chelny.

E-mail: math8@mail.ru.

Мухаметдинов Эдуард Мухаматзакиевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем»,

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.

E-mail: funte@mail.ru

Mukhametdinov Eduard Muhamatzakievich, Ph.D. (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Chair «Transport Systems Service», Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny

E-mail: funte@mail.ru

Рецензент: Кулаков Александр Тихонович, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Статья подана 15.03.2019

УДК 656.13,658.11

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ И СЕРВИСНОЙ СИСТЕМ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПОВ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТИ В ИНДУСТРИИ 4.0

Макарова И.В., Буйвол П.А.

INTERACTION OF INDUSTRIAL AND SERVICE SYSTEMS IN THE IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES OF CUSTOMER-ORIENTATION IN INDUSTRY 4.0

Makarova I.V., Buyvol P.A.

В статье описаны предпосылки развития и основные принципы концепции Индустрия 4.0. Раскрыты особенности организации производства на «Фабриках будущего», предполагающие формирование киберфизических систем. Предложена концептуальная модель организации единого информационного пространства в системе сервиса, обеспечивающая интеграцию производственной и сервисной системы посредством включения каждой единицы автомобильной техники как активного объекта путем установки он-лайн системы бортового диагностирования и передачи данных. Отмечены получаемые при этом преимущества для фирмы-производителя и конечных владельцев автомобильной техники в рамках реализации принципа клиентоориентированности.

Ключевые слова: сервисная система, производственная система, Индустрия 4.0.

Введение. Развитие в начале XXI века интернета, инфокоммуникационных технологий (ИКТ), устойчивых каналов связи, облачных технологий и цифровых платформ, а также информационный «взрыв» данных, обеспечили переход от локальной автоматизации предприятий к открытым информационным системам и глобальным промышленным сетям, выходящим за границы отдельного предприятия и взаимодействующим между собой. Такие системы и сети переводят промышленную автоматизацию на новую, четвертую, ступень индустриализации.

Обсуждения. В видении будущего производства, повсеместная сеть людей, вещей и машин будет создавать совершенно новые условия производства. Производители, ученые и правительства работают вместе, чтобы изучить и реализовать это видение завтрашней сетевой фабрики, которая воплощается в концепции Германии «Industrie 4.0». Эта инициатива была начата государственными, деловыми ассоциациями и профсоюзами и направлена на содействие

развитию новых технологий, созданию типовых заводов и справочных решений, а также определению стандартов. Франция последовала примеру Германии с аналогичной программой под названием Industrie du Futur. В Китае началась огромная программа «Сделано в Китае 2025 года», в которую входит большое количество под-инициатив, начиная от усилий по разработке передовых технологий в области робототехники и промышленного Интернета в программах, направленных на модернизацию традиционных трудоемких производств путем внедрения традиционных концепций автоматизации [1]. Все эти глобальные инициативы и кампании отличаются по размеру и конкретному дизайну, но все они сосредоточены на цифровизации и автоматизации.

«Индустрия 4.0» предполагает рациональное использование природных и технических ресурсов, максимально эффективное энергосбережение, вторичную переработку всех отходов и получение из них новых товаров, сырья или энергии. Речь идет о внедрении принципиально новой парадигмы: «Ремонт вместо новой покупки, аренда вместо собственности». Для того, чтобы правильно анализировать и использовать огромные объемы данных, необходимо разработать системы, которые позволят понять их содержание [2].

Компонентами Индустрии 4.0 являются: элементы Интернета вещей (Internet of Things — IoT), искусственный интеллект, машинное обучение и робототехника, облачные вычисления, большие данные (Big Data), аддитивное производство, кибербезопасность, интеграционная система, моделирование, дополненная реальность.

Многие из этих элементов уже давно и успешно применяются на практике, но именно объединение их в одну целостную систему позволит развить концепцию «Индустрии 4.0» и обеспечить новый уровень эффективности производства и

дополнительный доход за счет использования цифровых технологий, формирования сетевого взаимодействия поставщиков и партнеров, а также реализации инновационных бизнес-моделей.

В дорожной карте, разработанной группой «ТехНэт», предусмотрено создание нового поколения современных цифровых производств — фабрик будущего (рис. 1) [3].



Рис. 1. Фабрики будущего и жизненный цикл изделия

Реализация концепции «Фабрики будущего» обеспечит значительное сокращение времени вывода на рынки высокоинтеллектуальных изделий посредством использования технологий цифрового проектирования на всем протяжении их жизненного цикла.

Реализация концепции Индустрия 4.0 предусматривает формирование киберфизических систем (Cyber-Physical Systems — CPS), в рамках которых все элементы системы являются активными объектами, участвующими в обмене информации и принимающими соответствующие решения [4-6]. Непрерывный обмен информацией в таких системах реализован между ее элементами посредством технологии Интернет вещей [7]. Обмен и хранение данными организованы по облачной технологии.

В отличие от классических методов организации производства, благодаря гибкости и адаптивности, обеспечиваемой киберфизическими системами, Индустрия 4.0, поможет реализовать массовое производство по индивидуальным заказам, что позволит снизить цену продукции.

Для производства возможность различных компонентов общаться через сеть открывает невероятные перспективы. В «умных фабриках» машины будут понимать свое окружение и смогут общаться по единому сетевому протоколу между собой, а также с логистическими и бизнес-системами поставщиков и потребителей. Производственное оборудование и продукты станут активными системными компонентами, управляющими своими производственными и логистическими процессами. Производственное оборудование, получая сведения об изменившихся требованиях, сможет само вносить корректировки в технологический процесс. В результате производственные системы станут способны к самооптимизации и самоконфигурации,

оборудование будет осуществлять самодиагностику, произойдет дальнейшее повышение гибкости и индивидуализации продукции. Таким образом, это позволит обеспечить эффективный выпуск даже минимальных партий при быстром внесении изменений в продукцию и большом количестве вариантов.

При этом изменится и концепция сервиса, поскольку производитель будет заинтересован в создании фирменной сервисной сети, посредством которой он сможет реализовать принцип ответственности на свое изделие на протяжении всего жизненного [8].

Это особенно актуально для современных грузовых автомобилей, которые, в отличие от легковых, практически невозможно обслуживать в небольших автомастерских. Кроме того, благодаря наличию собственной системы сервиса будет доступна вся информация об особенностях эксплуатации, технического обслуживания и ремонта как конкретного автомобиля, так и всего парка.

Кроме того, включение в киберфизическую систему каждого автомобиля как активного объекта через каналы связи позволит получать информацию о состоянии узлов и агрегатов и прогнозировать остаточный ресурс. При адекватном подборе датчиков и совершенствовании бортовых диагностических систем это позволяет установить величины износа и прогнозировать момент вероятного наступления отказа. Таким образом, обладая подобной информацией и передавая ее в систему облачного хранения данных производственной системы можно будет прогнозировать потребность в запасных частях на ремонт и наладить в рамках поточного производства единичный выпуск продукции.

Результаты исследований. Для организации данной схемы взаимодействия системы сервиса и производственной системы подразумевается установка на отдельный автомобиль системы бортовой диагностики и онлайн передачи данных. Такие системы функционируют через четыре основных компонента: GPS спутники, бортовой диагностический комплект транспортного средства, GSM сеть и сервер поставщика услуги GPS контроля. Спутники используются для получения ключевой информации об автомобиле – местонахождения, направления и скорости движения. Бортовой комплект представляет собой GPS-приемник, GSM-передатчик и миникомпьютер, а также включает бортовые устройства диагностики. Вся необходимая информация от GPS-спутников, с датчиков и/или бортового компьютера собирается в так называемом черном ящике, откуда через канал GPRS местного GSM оператора передается на сервер, где информация должным образом обрабатывается и передается в облачное хранилище данных. Конечный пользователь (в данном случае человек или машина) имеет доступ к информации либо через специальное программное обеспечение, либо через обычный Веб-браузер с любой точки планеты, имеющей выход в Интернет (рис. 2).

В данном случае использование беспроводных технологий передачи сигналов накладывает повышенные требования к безопасности передаваемых данных. За безопасность данных будет отвечать микроконтроллер типа SmartMX, который сертифицирован по международному стандарту Common Criteria на уровень EAL5+, что гарантирует соответствие самым высоким

требованиям безопасности. Он предлагает повышенную устойчивость к атакам и высокую производительность, с криптографическими сопроцессорами и сверхнизким энергопотреблением. Для обслуживания ряда приложений SmartMX поддерживает проприетарные операционные системы как открытые платформы, такие как Java и MULTOS [9].

Заключение. Классические методы организации производства предполагали, что точным методом можно изготавливать только большие партии товаров. Благодаря новым принципам организации производственных процессов, становится возможным промышленным способом изготавливать и единичные изделия. Это подразумевает интеграцию производственной и сервисной системы посредством включения каждой единицы автомобильной техники как активного объекта путем установки он-лайн системы бортового диагностирования и передачи данных. Таким образом, Индустрия 4.0, благодаря гибкости и адаптивности, обеспечиваемой киберфизическими системами, поможет реализовать массовое производство по индивидуальным заказам, что позволит снизить цену продукции, в том числе и запасных частей на ремонт. С другой стороны, данная стратегия позволит обеспечить своевременную поставку запасных частей на предприятия сервиса, исходя из прогнозируемого остаточного ресурса узлов и агрегатов парка, экономя время и деньги клиента. Все это в конечном итоге будет способствовать реализации принципа клиентоориентированности в сервисе.

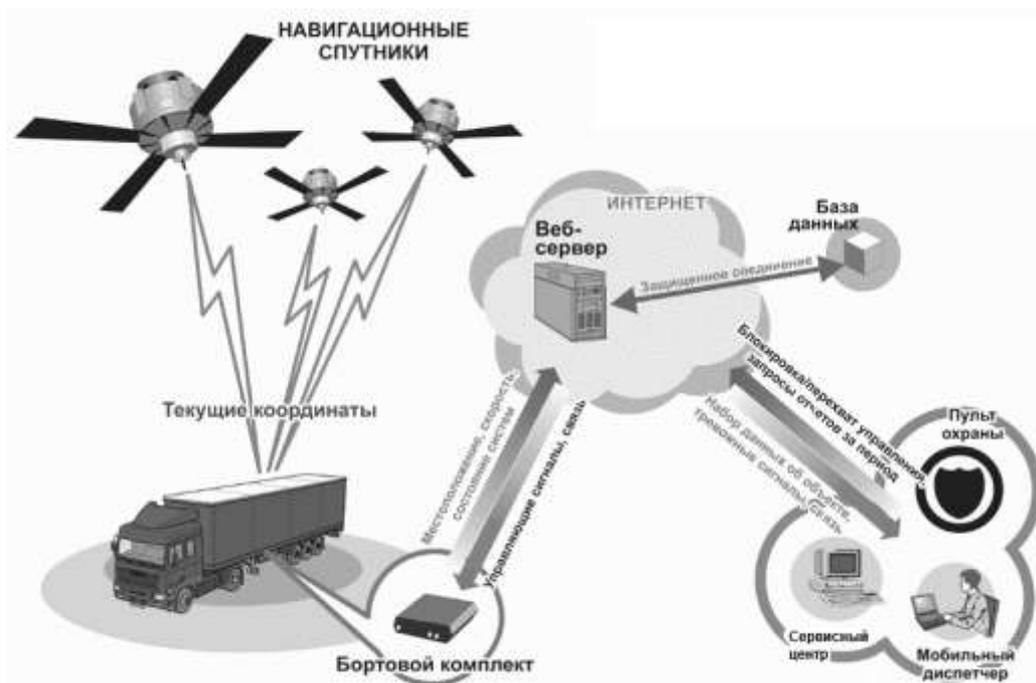


Рис. 2. Организация единого информационного пространства в системе сервиса

Литература

1 Butollo F. and Lüthje B. “‘Made in China 2025’”: Intelligent Manufacturing and Work”, in K. Briken, S. Chillas, M. Krzywdzinski and A. Marks (eds), *The New Digital Workplace. How New Technologies Revolutionise Work* (London: Palgrave Macmillan), pp. 42–61.

2 Четвертая промышленная революция. Популярно о главном технологическом тренде XXI века. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Четвертая_промышленная_революция_\(Industry_4.0\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Четвертая_промышленная_революция_(Industry_4.0)). Дата обращения: 20.12.2017.

3 Пояснительная записка к Дорожной карте Национальной технологической инициативы по направлению «ТехНэт» («Передовые производственные технологии»). URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/nti/docs/2015_1225_Zapiska_technet.pdf. Дата обращения: 20.12.2017.

4 Ингемансон А.Р. Актуальность внедрения концепции «Индустрия 4.0» в современное машиностроительное производство / А.Р. Ингемансон // *Научно-технические технологии в машиностроении*. 2016. Т.1, №7. С.45-48.

5 Цифровая экономика — различные пути к эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и другие) / В.П. Куприяновский [и др.] // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 4—11.

6 Куприяновский В.П. Кибер-физические системы как основа цифровой экономики / В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот, С.А. Синягов // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4, № 2. – С. 19—25.

7 Интернет Вещей на промышленных предприятиях / Куприяновский В.П. [и др.] // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4, № 12. – С. 69—78.

8 Индустрия 4.0. URL: <http://www.up-pro.ru/library/opinion/industriya-4.0.html> (дата обращения: 10.12.2017).

9 NXP SmartMX: high security microcontroller IC. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/brochure/75017515.pdf>. Дата обращения: 20.12.2017.

References

1. Butollo F. and Lüthje B. “‘Made in China 2025’”: Intelligent Manufacturing and Work”, in K. Briken, S. Chillas, M. Krzywdzinski and A. Marks (eds), *The New Digital Workplace. How New Technologies Revolutionise Work* (London: Palgrave Macmillan), pp. 42–61.

2. Chetvertaja promyshlennaja revoljucija. Populjarno o glavnom tehnologicheskom trende XXI veka. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ja:Chetvertaja_promyshlennaja_revoljucija_\(Industry_4.0\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ja:Chetvertaja_promyshlennaja_revoljucija_(Industry_4.0)). Data obrashhenija: 20.12.2017.

3. Pojasnitel'naja zapiska k Dorozhnoj karte Nacional'noj tehnologicheskoj iniciativy po napravleniju «TehNjet» («Peredovye proizvodstvennye tehnologii»). URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/nti/docs/2015_1225_Zapiska_technet.pdf. Data obrashhenija: 20.12.2017.

4. Ingemansson A.R. Aktual'nost' vnedrenija koncepcii «Industrija 4.0» v sovremennoe mashinostrojitel'noe proizvodstvo / A.R. Ingemansson // *Naukojomkie tehnologii v mashinostroenii*. 2016. T.1, №7. C.45-48.

5. Cifrovaja jekonomika — razlichnye puti k jeffektivnomu primeneniju tehnologij (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA i drugie) / V.P. Kuprijanovskij [i dr.] //

International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 4—11.

6. Kuprijanovskij V.P. Kiber-fizicheskie sistemy kak osnova cifrovoj jekonomiki / V.P. Kuprijanovskij, D.E. Namiot, S.A. Sinjagov // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4, № 2. – С. 19—25.

7. Internet Veshhej na promyshlennyh predpriyatijah / Kuprijanovskij V.P. [i dr.] // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4, № 12. – С. 69—78.

8. Industrija 4.0. URL: <http://www.up-pro.ru/library/opinion/industriya-4.0.html> (data obrashhenija: 10.12.2017).

9. NXP SmartMX: high security microcontroller IC. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/brochure/75017515.pdf>. Data obrashhenija: 20.12.2017.

Makarova I.V., Buyvol P.A.

INTERACTION OF INDUSTRIAL AND SERVICE SYSTEMS IN THE IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLES OF CUSTOMER-ORIENTATION IN INDUSTRY 4.0.

The article describes the prerequisites for the development and basic principles of the concept Industry 4.0. The features of the organization of production at the "Factories of the Future", involving the formation of cyber-physical systems, are disclosed. A conceptual model of organization of a single information space in the service system is proposed. At the same time, the integration of the production and service systems is ensured by the inclusion of each vehicle as an active object by installing an on-line on-board diagnostics and data transmission system. The benefits obtained for the producer company and the vehicle owners in the framework of the implementation of customer-orientation principle are noted.

Keywords: service system, production system, Industry 4.0.

Макарова Ирина Викторовна, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем» ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г.Набережные Челны.
E-mail: kamivm@mail.ru.

Makarova Irina Viktorovna, Doctor (Tech.), Professor, a head of the Chair «Transport Systems Service», Federal State Autonomous Educational Establishment of Higher Education «Kazan State University», Naberezhnye Chelny.
E-mail: kamivm@mail.ru.

Буйвол Полина Александровна, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем» ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г.Набережные Челны
E-mail: skyeyes@mail.ru.

Buyvol Polina Alexandrovna, Ph.D. (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Chair «Transport Systems Service», Federal State Autonomous Educational Establishment of Higher Education «Kazan State University», Naberezhnye Chelny.
E-mail: skyeyes@mail.ru.

Рецензент: Кулаков Александр Тихонович, д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Статья подана 12.02.2019

УДК 629.11:656.075

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ДИЛЕРСКО-СЕРВИСНОЙ СЕТИ

Макарова И.В., Габсалихова Л.М., Садыгова Г.Р.

INCREASE IN EFFECTIVE MANAGEMENT OF THE ENTERPRISES OF DEALER AND SERVICE NETWORK

Makarova I.V., Gabsalikhova L.M., Sadygova G.R.

В статье предложен метод повышения эффективности работы дилерско-сервисных центров (ДСЦ) на основе использования системного анализа. Метод основан на кластеризации ДСЦ по группам в соответствии с форматами, дифференцированном подходе к оценке их деятельности и расчете относительной полезной эффективности. Целью анализа эффективности дилерско-сервисной сети (ДСС) является получение объективной оценки эффективности каждого ДСЦ, выявление причин неэффективной работы и разработка стратегии для улучшения. В качестве инструмента формализации предлагается использовать программный продукт Konsi-DEA ANALYSIS, который позволяет оценивать параметры функционирования объектов, а также рассчитывать коэффициенты эффективности и суперэффективности для каждого из них.

Ключевые слова: эффективность, дилерско-сервисная сеть, управление.

Введение. Главным трендом развития экономики и общества, с которым в настоящее время связано разумное и рациональное управление и развитие всех сфер деятельности, в том числе и автомобилестроения, является интеллектуализация. во все сферы деятельности, появление методов нахождения оптимальных устойчивых решений, связывают с четвертой промышленной революцией, которая является основным трендом развития автомобильной отрасли. Высокий уровень автомобилизации и глобализация рынков вынуждают автопроизводителей к поиску новых решений, постоянному совершенствованию как конструкции автомобиля, так и технологии производства, а также новые способы привлечения клиентов.

Развитие автомобильной промышленности и растущая конкуренция на мировых рынках приводят к появлению новых тенденций, таких как расширение сети сборочных заводов в разных странах, обновление линейки автомобильных транспортных средств, в том числе появление более

экологически чистых и энергоэффективных моделей. Сегодня линейная модель экономики, основанная на принципе «взять, сделать, отбросить», заменена так называемой «круговой экономикой», которая имеет восстановительный и закрытый характер и основывается на минимизации потребления первичного сырья и сокращении захоронения отходов. Все это полностью коррелирует с таким ключевым направлением Четвертой промышленной революции, как формирование экологически чистых технических и технологических систем.

Согласно исследованиям международной компании PersistenceMarketResearch (2015), их внедрение в автомобильную промышленность создаст возможность сократить потребление сырья на 98%; будет способствовать экономии 83% энергии; позволит снизить стоимость готовой продукции до 40% и выбросы углекислого газа до 87%. Это можно реализовать в том случае, если производитель отвечает за свой продукт с течение его жизненного цикла.

В этих условиях актуальной становится задача создания системы фирменного сервиса и повышения эффективности процессов в ней. Чтобы обеспечить лояльность клиентов, их доверие к бренду, фирма-производитель должна повышать качество не только выпускаемых автомобилей, но и последующего их сервисного сопровождения. Принцип клиентоориентированности может быть реализован путем интеллектуализации управления и использования научных методов.

Конкуренция, в условиях которой действуют современные предприятия, диктует потребность в повышении эффективности каждого аспекта их деятельности. Оценка эффективности функционирования предприятия основана на выявлении и систематизации функций, выполняемых предприятием и в выборе показателей, позволяющих выполнить качественный анализ информации и принимать решения на основе

полученных результатов. При этом выбранные методы должны обеспечить повышение точности анализа и прогноза при оценке эффективности.

Можно выделить три основных группы методов измерения эффективности:

- использование экономических коэффициентов в качестве переменных, отражающих эффективность работы предприятия;
- эмпирические (экспертные) методики оценки эффективности работы;
- методы, основанные на построении границы эффективности.

Рассматривая систему фирменного сервиса как одну из подсистем производителя автомобилей, функционирующую в тесном взаимодействии с производственной и логистической системами, связь между которыми осуществляется с помощью информационных и материальных потоков, можно влиять на эффективность и устойчивость всей системы, повышая доверие к бренду у потребителей и конкурентоспособность автомобилей.

Состояние проблемы. Существующие решения **оценки эффективности фирменного сервиса.** Развитие автомобильной промышленности представляет собой промышленный стандарт страны, согласно которому количество автомобилей в стране можно рассматривать как показатель уровня жизни. Именно поэтому промышленно развитые страны будут стремиться к развитию автомобильной промышленности. В качестве основы для исследований в области автомобильной промышленности в 2007-2009 гг. авторы статьи [2] интегрировали анализ охвата данных (DEA) и анализ производительности Malmquist для измерения общей эффективности (TE), чисто технической эффективности (PTE) и масштабной эффективности (SE) девяти автомобильных предприятий в Тайване для дальнейшего повышения операционной эффективности производителей.

Для оптимизации процессов применяют различные методы или их комбинации. Как правило, это оценка эффективности и выявление «узких» мест для последующей модернизации процессов. В документе [3] анализируются эксплуатационные характеристики двадцати розничных продавцов двух тайваньских автомобильных дилеров на основе DEA в сочетании с практическим опытом.

Целью исследования является повышение эффективности управления предприятий автомобильной дилерско-сервисной сети. В этих условиях актуальной становится задача создания системы фирменного сервиса и повышения эффективности процессов в ней.

Для оценки эффективности дилерский автосервисных предприятий становится все более популярным такой метод, как анализ охвата данных (DEA) [4,5]. Авторы статьи [6] предлагают новый метод DEA для вычисления показателей эффективности. Метод основан на надежной

оптимизации: более высокие оценки для тех единиц принятия решений (DMU), которые остаются эффективными даже для больших одновременных и независимых изменений всех данных и наоборот. Новизна подхода в том, что он сохраняет порядок ранжирования по сравнению с классическим подходом и является единичным инвариантом.

Исследование [7] направлено на измерение и оценку эффективности компаний-производителей автомобилей в Индии с использованием DEA, что предоставляет руководству информацию о наиболее эффективных компаниях-производителях автомобилей в наборе наблюдений и выявляет относительно неэффективные компании по сравнению с наиболее эффективными.

Учитывая жесткую конкуренцию между крупными компаниями, в последние годы устойчивая цепочка поставок была признана ключевым компонентом корпоративной ответственности. Классификация поставщиков может облегчить выбор подходящего поставщика для управления, что экономит время и затраты компании. DEA стал одним из наиболее часто используемых инструментов для измерения относительной эффективности поставщиков. Авторы статьи [8] предложили новую сверхэффективную стохастическую модель DEA для измерения относительной эффективности поставщиков при наличии нулевых данных. Предложенный метод имеет много преимуществ для практиков в области устойчивости и управления цепочками поставок: во-первых, предлагаемая модель может ранжировать всех поставщиков в отношении контекста устойчивости. Во-вторых, недавно разработанная стохастическая модель DEA с высокой эффективностью дает оптимальное решение, использующее экономию затрат и выходной избыток для эффективных поставщиков. В-третьих, разработанная новая DEA-DA может предсказать членство в группе нового поставщика с высокой точностью в стохастическом контексте.

В статье [9] представлен сравнительный анализ результатов, достигнутых при идентификации наиболее предпочтительных устойчивых поставщиков, с помощью двух широко применяемых методов - методики определения порядка по сходству с идеальным решением (TOPSIS) и DEA. Нечеткий DEA и нечеткий TOPSIS применяются к общему набору поставщиков логистических услуг в Швеции.

Как видно из приведенного обзора, выбор метода зависит от решаемой проблемы. Тем не менее, DEA является хорошим инструментом оптимизации в задачах управления на разных этапах жизненного цикла в автомобильной отрасли.

Обсуждение. Развитие сервисной сети имеет два направления – строительство новых и реконструкция имеющихся сервисных центров. Стратегия развития включает этап оценки эффективности существующей сети для выявления

лидеров и аутсайдеров, определения возможности использования имеющегося потенциала развития с учетом стратегии развития региона и структуры автопарка. Направление развития ДСС зависит от результатов проведенного анализа и эффективности действующей сети.

Для адекватного сравнения эффективности существующих предприятий, мы должны привести их показатели к сопоставимому виду. Каждое такое предприятие имеет потенциальные возможности, которые численно можно обозначить набором параметров. Деятельность любого из таких предприятий заключается в стремлении максимально использовать свои возможности, что можно представить как стремление к идеальной системе. Идеальная система, в этом случае, - это такая система, которая достигает предела возможностей в своей деятельности. Предприятия схожие по своим возможностям можно ранжировать по степени достижения показателей идеальной системы. Поскольку любую сервисную сеть составляют ДСЦ, имеющий разный потенциал, перед тем как сравнивать их эффективность, необходимо их кластеризовать в сопоставимые группы.

Как правило, при создании ДСС в регионах используют следующую схему: в центре «куста» находится большой ДСЦ формата А (13-30 постов), а на периферии «куста», в зависимости от конкретной локации, находятся ДСЦ формата В (7-12 постов) или С (от 2 до 6 постов). При этом используют типовые форматы ДСЦ (рисунок 1).



Рис. 1. Схема размещения ДСЦ в регионе

Если в конкретном регионе не удовлетворяются потребности в сервисе, то необходимо рассмотреть варианты корректировки стратегии развития:

1) если существующая сервисная сеть работает неэффективно, а предприятия достигли предела своих возможностей, то необходимо расширение сервисной сети (либо модернизация имеющихся предприятий, либо строительство новых).

2) если существующая сервисная сеть работает неэффективно, но предприятие не достигло предела возможностей, то необходимо выявить причины неэффективности и стимулировать рост эффективности.

3) если существующая сервисная сеть работает эффективно, но имеется значительный разрыв между лидерами и аутсайдерами, то следует

пересмотреть стратегию и выполнить корректировку ресурсов.

Для этих целей, т.е. для оценки эффективности функционирования ДСС и выбора стратегии развития авторами был разработан алгоритм (рисунок 2), который состоит из нескольких этапов.

На первом этапе необходимо оценить эффективность действующей сети региона, в том числе с точки зрения возможности ее расширения:

- кластеризация ДСЦ в одноформатные группы по видам оказываемых услуг и форматам (параметрам, характеризующим предприятия с точки зрения видов деятельности, объемов услуг и т.п.) для сопоставимости оценок результатов деятельности;

- выявление лидеров и аутсайдеров в пределах одноформатных групп, для чего необходимо определить входные параметры, характеризующие потенциал исследуемых ДСЦ и их возможности, которые определяются как ресурсы, используемые в работе, и условия, в которых осуществляется деятельность ДСЦ, а также выходные параметры, отражающие результаты деятельности ДСЦ.



Рис. 2. Алгоритм оценки эффективности ДСЦ

Под эффективностью при этом понимается отношение выходных параметров к входным.

Субъект ДСС будет являться эффективным, если при текущем значении входных параметров невозможно достичь больших значений выходных. Для аутсайдеров, выявленных в результате этого этапа проводится SWOT-анализ, позволяющий установить направления стратегического планирования, выявив сильные и слабые стороны предприятия, а также определив угрозы и возможности развития.

Второй этап заключается в комплексной оценке потребностей региона в услугах автосервиса при разных сценариях развития региона. Для выполнения анализа необходимо:

- оценить текущее состояние парка и выполнить прогноз изменения его структуры при разных сценариях развития;
- выполнить расчет потребности в сервисных услугах при разных сценариях развития;
- оценить возможности действующей ДСС по удовлетворению потребностей в услугах фирменного сервиса при разных сценариях развития;
- определить наиболее приемлемый сценарий развития ДСС с учетом инвестиционных рисков.

На третьем этапе выполняется оценка адекватности выбранной стратегии:

- определение текущих показателей деятельности ДСЦ и значения комплексного показателя эффективности ДСС на начало периода;
- мониторинг состояния системы и сравнение показателей деятельности с исходными;
- анализ показателей, выявление проблемных ситуаций и корректировка стратегии.

Для оценки эффективности ДСС используются различные методы анализа, одним из которых является метод DEA, позволяющий оценивать параметры функционирования объектов, реализованный в программном комплексе KONSIDEA ANALYSIS [10]. Метод DEA основан на построении границы эффективности и нахождении относительной эффективности работы каждого исследуемого объекта. DEA-анализ позволяет выделять лидеров и аутсайдеров в своих форматных группах, сравнивать их с эталонами и разрабатывать объективные стратегические решения для вывода предприятия в лидеры. Анализ показателей аутсайдеров предполагает оценку изменений, которым должны быть подвергнуты параметры СП, чтобы повысить эффективность его деятельности. Чтобы выполнить изменения в работе аутсайдера необходимо сравнивать его с эталоном (предприятиями, участвующими в формировании идеала).

Поскольку субъекты ДСС различаются по видам выполняемых работ, то и оценку результатов их деятельности также следует проводить дифференцированно, выделяя для каждой однородной группы свой перечень факторов, влияющих на эффективность результатов, а, следовательно, на конкурентоспособность

предприятия. В этом смысле должно быть произведено разграничение как самих показателей, так и их значений для разных типов субъектов ДСС, а также сами субъекты должны быть разнесены по одноформатным группам. Для классификации субъектов ДСС предлагается использовать комплексный показатель, характеризующий проектный потенциал субъекта.

Результаты. Для нахождения относительной эффективности работы каждого исследуемого субъекта ДСС необходимо определить входные и выходные параметры, при этом под эффективностью понимается отношение данных параметров.

Ввиду территориальной разобщенности, а также различия параметров функционирования, для эффективной работы ДСС должен существовать единый центр управления, в который своевременно и оперативно должна поступать информация о показателях деятельности каждого субъекта ДСС. Корректировка стратегии развития ДСС, а также, в краткосрочной перспективе, изменение управляющих воздействий и перераспределение ресурсов, должно учитывать результаты анализа поступающей оперативной информации.

Анализируя полученную информацию, на первом этапе определяют показатели эффективности ДСЦ, а затем выявляют причины неэффективной деятельности. Если текущая эффективность настолько низка, что ставит под сомнение существование предприятия, то стратегия должна стать краткосрочной и сфокусироваться, прежде всего, на предотвращении утечки денежных средств. Даже если фирма работает эффективно, из этого не следует, что необходимо придерживаться выбранной стратегии. Рынок постоянно меняется, и роль стратегии состоит в том, чтобы помочь фирме приспосабливаться к изменениям на рынке.

Методика оценки эффективности ДСЦ. Чтобы при оценке эффективности каждого ДСЦ показатели были сопоставимыми, необходимо вычислить относительные показатели по каждому направлению деятельности. При анализе дилерско-сервисной сети исходили из того, что объем оказанных услуг, приведенный к числу постов ($K_{\text{пост}}$), является выходным параметром. В качестве входных параметров были выбраны показатели: коэффициент использования площади производственных помещений ($K_{\text{пл}}$), складских площадей ($K_{\text{пс}}$), рабочего времени поста ($K_{\text{раб.вр}}$).

$K_{\text{пост}}$ – коэффициент использования поста – есть отношение объема оказанных услуг к числу постов. Данный показатель позволяет оценить организованность труда, квалификацию персонала и механизацию работ. Чем выше эффективность использования поста, тем лучше показатели организованности труда, квалификации персонала и механизации работ:

$$K_{\text{ПОСТ}} = \frac{V}{x}, \quad (1)$$

где V – объем оказанных услуг, млн. руб; x – число постов, ед.

$K_{\text{ПП}}$ – коэффициент использования площади производственных помещений – отношение площади зоны ТО и ТР к количеству постов обслуживания автомобилей:

$$K_{\text{ПП}} = \frac{S_{\text{ТО,ТР}}}{x}, \quad (2)$$

$K_{\text{ПС}}$ – коэффициент использования складских помещений – есть отношение площади складских помещений к количеству постов:

$$K_{\text{ПС}} = \frac{S_{\text{склад}}}{x}. \quad (3)$$

$K_{\text{раб.вр}}$ – коэффициент использования рабочего времени есть отношение объема оказанных услуг к произведению числа рабочих постов и часовой выработки ($T_{\text{см}} \times C \times D_{\text{раб.Г}}$):

$$K_{\text{раб.вр.}} = \frac{V}{x \times T_{\text{см}} \times C \times D_{\text{раб.Г}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, час; C – число смен работы; $D_{\text{раб.Г}}$ – число рабочих дней в году, дни.

Для того, чтобы вычисленные абсолютные показатели эффективности, могли быть объединены в один общий показатель совокупной эффективности, необходимо их приведение к эталонным, отражающим максимум возможностей. Оценка эффективности функционирования сервисных предприятий подразумевает использование комплексного показателя q , который определяется как произведение показателей:

$$q = \prod_{n=1}^k K_K = \frac{K_{\text{ПП}}}{K_{\text{ПП}}^{\text{ЭТ}}} \times \frac{K_{\text{ПС}}}{K_{\text{ПС}}^{\text{ЭТ}}} \times \frac{K_{\text{раб.вр}}}{K_{\text{раб.вр}}^{\text{ЭТ}}} \times \frac{K_{\text{ПОСТ}}}{K_{\text{ПОСТ}}^{\text{ЭТ}}} \quad (5)$$

где k – число показателей.

Комплексный показатель оценки конкурентоспособности ДСС определяется как среднеарифметическое значение комплексных показателей оцениваемых сервисных предприятий и служит мерой оценки всей сети:

$$Q = \frac{\sqrt[n]{q_n}}{n} \quad (6)$$

Для ДСЦ разных форматных групп минимальные требования к общим показателям различны. Они используются для оценки ДСЦ (количество персонала, минимальные площади производственного цеха, складских помещений, административно-бытовых помещений, стоянок, минимальный набор оборудования, специального инструмента и приспособлений, эксплуатационно-ремонтной документации). Эти показатели разделяются на две группы: проектные параметры («эталонные»), влияющие на эффективность функционирования ДСЦ, и выходные оценочные параметры. Таким образом, каждый ДСЦ будет охарактеризован совокупностью показателей, комплексно и адекватно отражающей его конкурентоспособный потенциал. При этом, учитывая, что исходное множество показателей имеет различный физический смысл и характер влияния на итоговую оценку конкурентоспособности ДСЦ, было выполнено их разделение на группы

Пример реализации разработанной методики.

Для реализации разработанной методики корректировки стратегии развития ДСС по результатам анализа их деятельности была выполнена программная реализация разработанного алгоритма. Пример классификации ДСЦ формата А ПФО приведен в таблице (Рисунок 3).

Благодаря наличию функции выгрузки и загрузки периодически формируемых файлов с данными, поступающими в центр управления, накапливается статистика результатов деятельности ДСЦ, которая может быть использована для анализа данных в сравнении с итогами предыдущих периодов и эталонными значениями.

Преимущество данной программы заключается в том, что ее использование минимизирует влияние субъективных факторов на качественную и количественную оценку информации по результатам деятельности предприятий и способствует принятию обоснованных решений на основе ее анализа без привлечения эксперта. Информация в окне программного модуля разнесена по вкладкам в соответствии с категориями оценки. Предусмотрена защита от ввода некорректной информации (информация вводится строго в соответствии с типами данных), а также обязательное заполнение установленного перечня полей (с возможностью отключения напоминания проверки заполненности полей).

После ввода информации во все требуемые поля, специалист, ответственный за сбор сведений по всем оцениваемым сервисным предприятиям, пересылает файл с данными, которые в головном центре управления загружаются в единую базу данных. Таким образом, осуществлена возможность накопления статистической информации. Специалист по оценке эффективности функционирования ДСС загружает данные,

полученные из всех ДСЦ, в единую базу данных. Программа позволяет вычислять относительные показатели для каждого ДСЦ, производит сравнение их с эталонными значениями, рассматривает изменение показателей в сравнении с предыдущими периодами, вычисляет значение эффективности функционирования каждого предприятия в отдельности и всей сети в целом и указывает на правильность выбранной стратегии.

В результате проведенного DEA-анализа оценки эффективности функционирования ДСС установлено, что пять из двенадцати предприятий работают с достаточной эффективностью. ООО «Саранский автоцентр КАМАЗ» работает с низкой эффективностью. Для выявления сильных и слабых сторон предприятия был проведен SWOT-анализ, выявлены положительные стороны, среди которых

удобный режим работы и небольшое число конкурентов в данном регионе.

Сравнительный анализ деятельности СП ООО «Саранский автоцентр КАМАЗ» показал, что произошло ухудшение комплексного показателя за счет снижения коэффициента использования поста и коэффициента использования рабочего времени, что требует пересмотра стратегии развития и выявления причин ухудшения указанного показателя:

$$q_{\text{сод}} = \prod_{n=1}^k K_n = \frac{K_{\text{ПП}}}{K_{\text{ЭТ}}} \times \frac{K_{\text{ПС}}}{K_{\text{ЭТ}}} \times \frac{K_{\text{раб.вр}}}{K_{\text{раб.вр.}}} \times \frac{K_{\text{ПОСТ}}}{K_{\text{ЭТ}}}$$

$$q_{1\text{год}} = 0,58 \times 0,62 \times 0,49 \times 0,49 = 0,086;$$

$$q_{2\text{год}} = 0,58 \times 0,62 \times 0,44 \times 0,44 = 0,070.$$

№ ДСЦ	Число постов	Площади						Приведенные показатели							Рейтинги							Суммарный рейтинг	
		Общая	Торговая	Зона ТО и ТР, в т.ч. мойка и очистные сооружения	Обищные помещения	АБК	Парковки	Склады	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6		7
1	24	41208	15300	3552	2879	192	15300	6077	1717	638	148	120	8	638	253	1	1	5	1	10	1	2	21
2	17	11843	1229	2680	110	1845	1229	5979	697	72	158	6	109	72	352	4	7	4	7	1	7	1	31
3	24	9751	3539	2670	165	531	3539	2846	406	147	111	7	22	147	119	6	3	9	5	6	3	3	35
4	16	20644	3400	1492	30	456	3400	540	1290	213	93	2	29	213	34	3	2	11	11	5	2	7	41
5	24	9751	3539	2670	165	531	3539	2846	406	147	111	7	22	147	119	7	4	10	6	7	4	4	42
6	20	10243	1000	6756	90	1905	1000	492	512	50	338	5	95	50	25	5	8	2	9	2	8	9	43
7	26	7612	2800	3091	500	858	2800	563	293	100	119	19	33	100	22	9	6	7	3	4	6	10	45
8	30	9530	800	6656	750	1007	800	317	318	27	222	25	34	27	11	8	11	3	2	3	11	11	49
9	25	33532	800	31700	48	336	800	648	1341	32	1268	2	13	32	26	2	10	1	10	9	10	8	50
10	26	6950	920	3600	400	510	920	1520	267	35	138	15	20	35	58	10	9	6	4	8	9	5	51
11	20	3010	2000	2235	110		2000	900	151	100	112	6	0	100	45	11	5	8	8	11	5	6	54

Рис. 3. Сравнение показателей деятельности ДСЦ формата А

Сравнительный анализ комплексных показателей дилерско-сервисной сети по годам свидетельствует о том, что выбранная стратегия оказалась эффективной, поскольку наблюдается положительная динамика:

$$Q_{1\text{год}} = \sum q_n/n = 1.986/12 = 0.17$$

$$Q_{2\text{год}} = \sum q_n/n = 2.174/12 = 0.18$$

На предприятиях, где производственные мощности задействованы в полной степени, ставится вопрос о достижении максимума оптимального управления. Для предприятий, не исчерпавших свои производственные возможности, выявляются причины низкой эффективности функционирования, выделяются входные параметры, корректировка которых позволит организовать деятельность более рационально, разрабатывается план мероприятий по оптимизации процессов. После этого аналитик оценивает какие улучшения принесут планируемые мероприятия

каждому субъекту ДСС и всей системе в целом. Разработанные мероприятия доводятся до сведения субъектов для последующего выполнения

Заключение. Практическая значимость работы заключается в том, что использование разработанных алгоритмов и методик способствует повышению качества услуг сервисного обслуживания автомобилей, обеспечению эффективной реализации их ресурса и улучшению уровня обслуживания в сервисных центрах и качества принимаемых научно-обоснованных управленческих решений.

Предложена общая технология повышения конкурентоспособности сервисных предприятий и всей ДСС в целом путем выделения факторов оценки и влияющих на них параметров, вычисления «эталонных» и фактических значений и корректировки управляющего воздействия по степени отклонения фактических значений от «эталонных». Таким образом, рассмотрение ДСС в комплексе позволит выявлять лидеров и аутсайдеров среди сервисных предприятий в форматных группах, выработать план изменений в работе субъектов ДСС и осуществлять

обоснованное перераспределения ресурсов между сервисными предприятиями в рамках сети.

Л и т е р а т у р а

1. Trojanowska, J., Żywicki, K., Pająk, E.: Influence of selected methods of production flow control on environment. In: Golinska, P., Fertsch, M., MarxGomez, J. (eds.) Information Technologies in Environmental Engineering, pp. s.695–705. Springer, New York (2011). doi: 10.1007/978-3-64219536-5_54.

2. Maritz, Alex, Shieh, Chich-Jen. Performance Analysis of Automobile Industry in Taiwan with Data Envelopment Analysis. International Journal of Applied Mathematics and Statistics, Vol. 38; Issue No. 8; Year 2013, pp.84.

3. Lin T. T., Lee C.C., Chang F.T. A Performance Management on Automobile Dealers with Applying Data Envelopment Analysis. Proceedings of the 2010 IEEE IIEEM. Pp.380-384.

4. Charnes A, Cooper W W, Rhodes E (1978) Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research. Volume 2, Issue 6, November 1978, Pages 429-444.

5. Banker R D, Charnes A, Cooper W W (1984) Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. ManagementScience. Vol. 30, No. 9:1078–1092.

6. Milan Hladik. Universal efficiency scores in data envelopment analysis based on a robust approach. Expert Systems With Applications 122 (2019) 242–252.

7. Nand Kumar, Ankur Satya, Ranganath M. Singari. Evaluation of Efficiency of Automobile Manufacturing Companies in India Using Data Envelopment Analysis. International journal of advanced production and industrial engineering. IJAPIE-2017-01-111, Vol 2 (1), 01-06.

8. Mohammad Tavassoli, Reza FarzipoorSaen. Predicting group membership of sustainable suppliers via data envelopment analysis and discriminant analysis. Sustainable Production and Consumption 18 (2019) 41–52.

9. Kamran Rashidi, Kevin Cullinane. A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection: Implications for sourcing strategy. Expert Systems With Applications 121 (2019) 266–281.

10. Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Шакирова Д.Ю., Мухаметдинова Л.М., Зиганшина Р.Ф. Повышение эффективности системы фирменного сервиса как один из факторов устойчивости производственной системы: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011. С.43-48.

R e f e r e n c e s

1. Trojanowska, J., Żywicki, K., Pająk, E.: Influence of selected methods of production flow control on environment. In: Golinska, P., Fertsch, M., MarxGomez, J. (eds.) Information Technologies in Environmental Engineering, pp. s.695–705. Springer, New York (2011). doi: 10.1007/978-3-64219536-5_54.

2. Maritz, Alex, Shieh, Chich-Jen. Performance Analysis of Automobile Industry in Taiwan with Data Envelopment Analysis. International Journal of Applied Mathematics and Statistics, Vol. 38; Issue No. 8; Year 2013, pp.84.

3. Lin T. T., Lee C.C., Chang F.T. A Performance Management on Automobile Dealers with Applying Data Envelopment Analysis. Proceedings of the 2010 IEEE IIEEM. Pp.380-384.

4. Charnes A, Cooper W W, Rhodes E (1978) Measuring the efficiency of decision making units. European

Journal of Operational Research. Volume 2, Issue 6, November 1978, Pages 429-444.

5. Banker R D, Charnes A, Cooper W W (1984) Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. ManagementScience. Vol. 30, No. 9:1078–1092.

6. Milan Hladik. Universal efficiency scores in data envelopment analysis based on a robust approach. Expert Systems With Applications 122 (2019) 242–252.

7. Nand Kumar, Ankur Satya, Ranganath M. Singari. Evaluation of Efficiency of Automobile Manufacturing Companies in India Using Data Envelopment Analysis. International journal of advanced production and industrial engineering. IJAPIE-2017-01-111, Vol 2 (1), 01-06.

8. Mohammad Tavassoli, Reza FarzipoorSaen. Predicting group membership of sustainable suppliers via data envelopment analysis and discriminant analysis. Sustainable Production and Consumption 18 (2019) 41–52.

9. Kamran Rashidi, Kevin Cullinane. A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection: Implications for sourcing strategy. Expert Systems With Applications 121 (2019) 266–281.

10. Макарова И.В., Хабиллин Р.Г., Шакирова Д.Ю., Мухаметдинова Л.М., Зиганшина Р.Ф. Повышение эффективности системы фирменного сервиса как один из факторов устойчивости производственной системы: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011. С.43-48.

Makarova I.V., Gabsalikhova L.M., Mukhametdinov E. M.

INCREASE IN EFFECTIVE MANAGEMENT OF THE ENTERPRISES OF DEALER AND SERVICE NETWORK

The article proposes a method to increase the efficiency of dealership service centres (DSC) based on the system analysis use. The method is based on clustering the DSC into groups according to formats, a differentiated approach to the assessment of their activities and the relative useful efficiency calculation. The analysing purpose effectiveness of the dealer-service network (DSN) is to obtain an objective efficiency assessment of each DSC, identify the causes of inefficient operations and develop a strategy for improvement. As a formalization tool, it is proposed to use the software product Konsi-DEA ANALYSIS, which allows to evaluate the parameters of the objects functioning, as well as calculate the coefficients of efficiency and superefficiency for each of them.

Keywords: *efficiency, dealer-service network, management*

Макарова Ирина Викторовна, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.
E-mail: kamIVM@mail.ru

Makarova Irina Viktorovna, Doctor (Tech.), Professor, Professor of the Department "Service of transport systems", Kazan Federal University, NaberezhnyeChelny
E-mail: kamIVM@mail.ru

Габсалихова Лариса Мухаматзакиевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем»,

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.

E-mail: muhametdinoval@mail.ru

Gabsalihova Larisa Muhamatzakievna, Ph.D. (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department "Service of transport systems", Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny

E-mail: muhametdinoval@mail.ru

Садыгова Гульназ Рашидовна, старший преподаватель кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.

E-mail: sadygova_1988@mail.ru

Sadygova Gulnaz Rashidovna, Senior teacher of department "Service of transport systems ", Kazan Federal University, NaberezhnyeChelny

E-mail: sadygova_1988@mail.ru

Рецензент: Кулаков Александр Тихонович, д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»,

Статья подана: 21.03.2019

УДК 629.021

К ВОПРОСУ ВЫБОРА УЗЛОВ АВТОМОБИЛЯ, ПОДЛЕЖАЩИХ МОДЕРНИЗАЦИИ, С УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЯ

Малахова В.В., Малахов О.В.

TO THE QUESTION OF THE CHOICE OF CAR COMPONENTS TO BE UPGRADED, TAKING INTO ACCOUNT THE CRITERION OF INCREASING THE RELIABILITY OF THE CAR

Malakhova V.V., Malakhov O.V.

В статье рассматривается выбор компонентов автомобиля для выполнения их модернизации с учетом критерия повышения общей надежности автомобиля. Выбрано три варианта обновления отдельных соединений. Произведена оценка их влияния на общую надежность автомобиля. Разработаны рекомендации.

Ключевые слова: надежность автомобиля, отказ, резьбовое соединение, модернизация.

Введение. Надежность автомобиля — это свойство автомобиля выполнять заданные функции, сохраняя значения установленных эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения автомобиля и условий его эксплуатации может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость в отдельности или определенное сочетание этих свойств, как для автомобиля, так и для его агрегатов (систем, узлов и деталей), направленным на выполнение автомобилем рабочих функций с установленными показателями в течение ресурса до капитального ремонта [1,2].

Надежность автомобиля не остается постоянной в течение всего срока его службы. По мере изнашивания деталей, механизмов и агрегатов надежность уменьшается, так как вероятность выхода из строя деталей увеличивается. Новые автомобили всегда более надежны по сравнению с автомобилями, имеющими большой пробег или прошедшими капитальный ремонт. Следовательно, заданная степень надежности автомобиля рассматривается в связи с определенным пробегом. Надежность зависит также и от того, в каких условиях работает автомобиль.

При работе, например, на дорогах с твердым усовершенствованным покрытием надежность автомобиля больше, чем при работе по бездорожью. Надежность летом всегда выше, чем зимой, при прочих равных условиях. Поэтому, понятие «надежность автомобиля» тесно увязывается с условиями его эксплуатации. Надежность агрегатов и узлов определяется главным образом долговечностью деталей. Поэтому, прежде всего, необходимо широкое экспериментальное исследование, выявляющее детали, критические по надежности.

Современная наука и техника в области автомобилестроения позволяют обеспечивать ресурс основных агрегатов, в том числе двигателя до капитального ремонта и более, намного увеличивать наработку на отказ других агрегатов и механизмов. Повышение надежности автомобилей, обеспечение удобного доступа к обслуживаемым агрегатам и узлам, их совершенствование для облегчения обслуживания и ремонта, уменьшение количества точек смазки, увеличение периодичности технического обслуживания позволяют сократить простой автомобилей в техническом обслуживании и ремонте и тем самым повысить их производительность.

Автомобиль, как правило, рассчитывается на длительную работу. Разностойкость сопряжений агрегатов автомобиля требует периодических остановок для его обслуживания и замены наименее стойких деталей. Поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы эти остановки были реже и требовали минимальных трудовых и материальных затрат. Следовательно, надежность должна содержать не только вероятность безотказной работы в течение заданного времени, но и показатели, характеризующие выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту в

кратчайшие сроки с минимальными трудовыми и материальными затратами.

Уменьшить объем работ по техническому обслуживанию и ремонту и их трудоемкость можно либо за счет увеличения долговечности деталей, либо за счет приспособления конструкции автомобиля и его агрегатов к быстрой замене износившихся сопряжений и узлов, т. е. за счет улучшения ремонтпригодности, либо за счет одновременного улучшения показателей долговечности и ремонтпригодности.

Долговечность деталей, узлов и агрегатов и ремонтпригодность конструкции автомобиля — это два мощных рычага, с помощью которых можно повысить его надежность на стадии проектирования и в процессе модернизации.

Постановка задачи. Правильно сконструированные машины и оборудование оказываются ненадежными, если они недоброкачественно изготовлены. Как показывают многочисленные исследования, этот фактор в настоящее время является решающим, так как 60—70% отказов в работе машин возникает по вине заводов-изготовителей. Поэтому наряду с работами по созданию наиболее эффективных конструкций машин требуется резкое улучшение технологии их изготовления. Эта задача должна решаться комплексно по всему производственному циклу.

Во многих случаях надежность машин определяется долговечностью трущихся пар и различных сочленений деталей механизмов [3].

Рассмотрим несколько вариантов модернизации с целью повышения надежности автомобиля ГАЗ-3308. Грузовой автомобиль капотного типа повышенной проходимости грузоподъемностью 2,5 т. Выпускается с 1997 г., пришел на смену легендарному автомобилю ГАЗ-66. Одним из наиболее критичных в плане надежности элементов конструкции автомобиля являются его многочисленные резьбовые соединения. В качестве объекта совершенствования примем один из трехкомпонентов резьбовых соединений, входящих в состав трансмиссии, ходовой части либо рулевого механизма — гайку [4], табл. 1).

Для количественной оценки показателей надежности автомобиля широко используется аппарат математической статистики и теории вероятности [5,6].

Вероятность безотказной работы (вероятность того, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не возникнет отказ изделия) определяется из соотношения

$$P(t)=1-Q(t),$$

где $Q(t)$ — вероятность отказа каждого из элементов системы.

Таблица 1

Объекты модернизации (по вариантам)				
№ п/п	Расположение	Номер по каталогу	Наименование	Количество в узле
1	Поз. 38 (рис. 1)	4595631-257	Гайка М16х1,5-6Н ОСТ 37.001.137-83	2
2	Поз. 10(рис.3)	4595531-068	Гайка М20х1,5-6Н ОСТ 37.001.124-93	6
3	Поз. 46 (рис. 5)	292968-П29	Гайка М24х1,5-4Н6Н	1

При оценке вероятности безотказной работы такой сложной технической системы, как автомобиль, следует учитывать, что современный автомобиль состоит из большого количества составляющих компонентов — деталей. Отказ некоторых из них приводит к полной потере работоспособности автомобиля, потеря работоспособности иными компонентами позволит автомобилю продолжать движение до момента их замены.

Оценим изменение вероятности безотказной работы автомобиля для каждого из трех вариантов модернизации автомобиля. Примем, что материальные затраты на реализацию всех вариантов модернизации идентичны. Вероятность безотказной работы резьбового соединения в результате модернизации повышается на величину δ . Будем предполагать, что исходные показатели безотказности элементов заданы в виде вероятностей безотказной работы $R_i(t)$, $i = 1, N$.

Первый вариант. Гайка крепления раздаточной коробки, каталожный номер 4595631-257 (рис. 1).

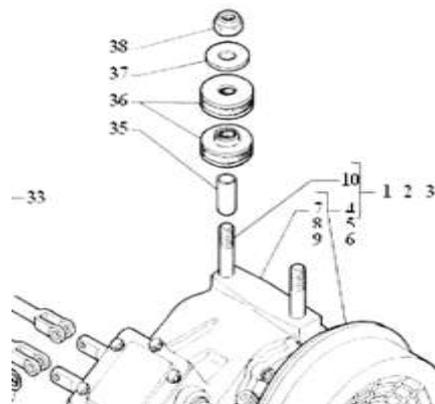


Рис. 1. Крепление раздаточной коробки

Количество идентичных деталей в конструкции автомобиля – 4. Выход из строя двух из любой из двух пар соединений приводит к потере функциональной работоспособности автомобиля (рис. 2).

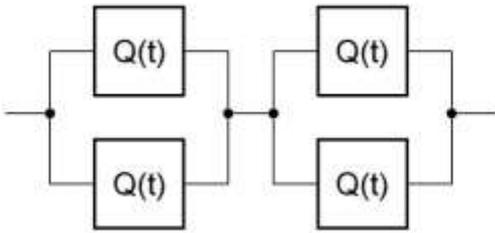


Рис. 2 Система с элементами резервирования

В соответствии с определением, приведенным выше, вероятность отказа системы

$$Q_1(t) = \prod_{i=1}^2 \left[\sum_{j=1}^2 (Q(t) \cdot \delta) \right],$$

а вероятность безотказной работы системы после модернизации по первому варианту

$$P_1(t) = \prod_{i=1}^2 \left[\sum_{j=1}^2 (1 - Q(t) \cdot \delta) \right].$$

Второй вариант. Гайка крепления тормозного барабана, каталожный номер 4595531-068 (рис.3).

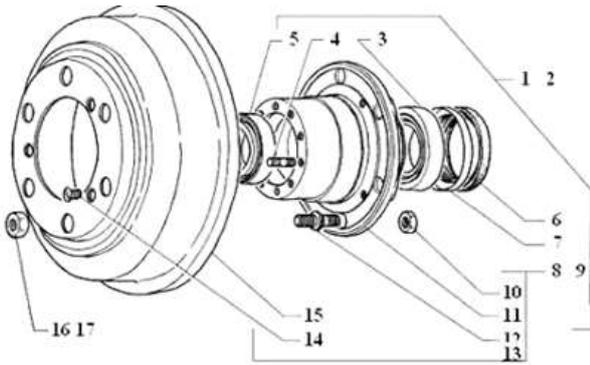


Рис. 3 Крепление тормозного барабана

Количество идентичных деталей в одном узле крепления тормозного барабана – 6. Отказ четырех гаек из шести в любом из двух тормозных барабанов приводит к потере функциональной работоспособности автомобиля.

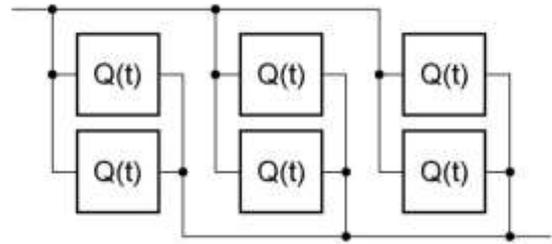


Рис. 4 Система с резервированием

Вероятность отказа системы

$$Q_2(t) = \prod_{i=1}^2 \left[\sum_{j=1}^4 (Q(t) \cdot \delta) \right],$$

а вероятность безотказной работы системы после модернизации по второму варианту

$$P_2(t) = \prod_{i=1}^2 \left[\sum_{j=1}^4 (1 - Q(t) \cdot \delta) \right].$$

Третий вариант. Гайка крепления сошки рулевого механизма, каталожный номер 292968-П29 (рис.5).

Количество идентичных деталей в конструкции автомобиля – 1. Отказ приводит к безусловной потере функциональной работоспособности автомобиля (рис.6).

Вероятность отказа системы

$$Q_3(t) = Q(t) \cdot \delta.$$

а вероятность безотказной работы системы после модернизации по третьему варианту

$$P_3(t) = 1 - Q(t) \cdot \delta.$$

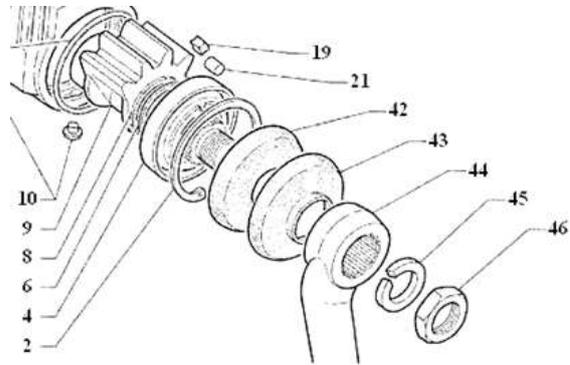


Рис. 5. Крепление сошки рулевого механизма

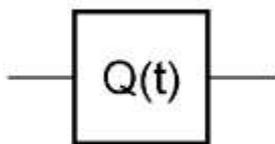


Рис.6. Система без элементов резервирования

Результаты численного моделирования, выполненные для различных значений исходных $R(t)$ и δ , показывают (рис.7), что во всем диапазоне исследованных значений наибольшее влияние на повышение надежности автомобиля оказывает вариант модернизации автомобиля №3.

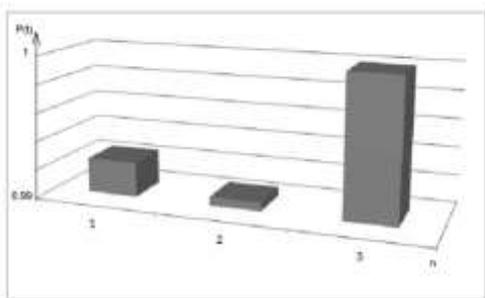


Рис.7 Результаты численного моделирования

Промежуточное значение занимает вариант №1. Наименьший вклад в повышение надежности автомобиля привносит вариант модернизации №1.

Результаты исследования. В результате проведенного анализа трех вариантов модернизации узлов резьбовых соединений автомобиля ГАЗ-3308, а именно:

1) гайка крепления раздаточной коробки, каталожный номер 4595631-257;

2) гайка крепления тормозного барабана, каталожный номер 4595531-068;

3) гайка крепления сошки рулевого механизма, каталожный номер 292968-П29,

выявлено, что при прочих равных условиях наибольший вклад в повышение надежности автомобиля, как системы в целом, оказывает вариант №3.

Выводы. При планировании очередности задач по модернизации узлов и агрегатов автомобиля следует анализировать степень их влияния на надежность автомобиля в последующей его эксплуатации. Проведенный анализ показал, что материальные затраты на модернизацию узла и степень влияния данной модернизации на надежность эксплуатации автомобиля, как системы в целом, не имеют прямой корреляции.

Литература

1. Губачева Л.А. Определение функции эксплуатационной надежности // Залізничний транспорт України. – 2006, №1, С. 20-25.

2. Малахов О.В., Козак Т.М. Аналіз параметрів надійності механізму переводу джерела іонізуючого випромінювання у робоче положення. // Вісник кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. - Кременчук, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2012. - №3(74), – С.11-14.

3. Губачева Л.А. Методы повышения эксплуатационной надежности пар трения // Вестник КГТУ. Межвузовский сборник научных трудов. Серия Транспорт. – 2005, №39, С. 615-619.

4. ГОСТ 11708-82 «Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба. Термины и определения».

5. Войнов К.Н. Прогнозирование надежности механических систем. – Л: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. – 208 с.

6. Елизаветин М.А. Повышение надежности машин. Изд. 2-е переработ., и доп. М., «Машиностроение», 1973, 430 с.

References

1. Gubacheva L.A. Opredelenie funktsii ekspluatatsionnoy nadegnosti // Zalianichnuy transport Ukrainu. – 2006, №1, P.20-25.

2. Malakhov O.V., Kozak T.M. Analiz parametrov nadijnosti mehanizmu perevody dgerela ionizujucego vuprominyvannya u roboche pologennya.// Visnik kremenchuzkogo natsionalnogo universitetu imeni Muhaila Ostrogradskogo. – Kremenchuk, Kremenchutskiy natsionalnuy universitet imeni Mihajla Ostrogradskogo, 2012. - №3(74), - P.11-14.

3. Gubacheva L.A. Metogu povushenija ekspluatatsionnoy nadegnosti partrenija // Vestnik KGTU. Megvuzovskij sbornik nauchnuh trudov.Seriya Transport. – 2005, №39, P.615-619.

4. GOST 11708-82 «Basic rules of interchangeability. Thread. Terms and definitions».

5. Vojnov K.N. Prognozirovanie nadegnosti mehanicheskikh system. – L. Mashinostroenie. Leningr. otdelenie, 1978. – 208p.

6. Elizavetin M.A. Povushenie nadegnosti mashin. Izd. 2-e pererabot. I dop.

Malakhova V.V., Malakhov O.V.

TO THE QUESTION OF THE CHOICE OF CAR COMPONENTS TO BE UPGRADED, TAKING INTO ACCOUNT THE CRITERION OF INCREASING THE RELIABILITY OF THE CAR

The article deals with the selection of car components to perform their modernization, taking into account the criterion of increasing the overall reliability of the car. Selected three options for the upgrading of individual connections. The assessment of their impact on the overall reliability of the car. Recommendation have been developed.

Keywords: vehicle reliability, failure, screw connection, upgrading.

Малахова Виктория Владимировна, ассистент кафедры «Промышленный и городской транспорт», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: malakhova_viktoriya84@mail.ru

Malakhova Viktoriya, assistant of the «Industrial and urban transport State Educational Establishment of Higher

Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: malakhova_viktoriya84@mail.ru

Малахов Олег Владимирович, к.т.н., доц., кафедра «Промышленный и городской транспорт», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: oleg.malakhov.2016@gmail.com

Malakhov Oleg, Cand. Tehn. Sc., Associate Professor of the «Industrial and urban transport State Educational

Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: oleg.malakhov.2016@gmail.com

Рецензент: Губачева Лариса Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 31.03.2019

УДК 621.86/.87

АНАЛИЗ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ С ПОМОЩЬЮ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ И МКЭ

Мирошников А.А.

ANALYSIS OF CALCULATION OF THE INTENSE DEFORMED CONDITION OF METAL CONSTRUCTION BY MEANS OF TENSOMETRIC LABORATORY AND FINITE ELEMENT METHOD

Miroshnikov A.A.

Методы исследования на базе электротензометрического оборудования получило широкое распространение в технике. С помощью данной методики возможно изучить работу огромного спектра машин, механизмов и оборудования, в производственных условиях. Возможно, исследование медленно и быстро протекающих процессов, мониторинг во времени деформации и напряжения, скорости, ускорения и т.д. Металлоконструкции грузоподъемных машин, отработавших свой нормативный срок, требуют особого контроля. В настоящее время отсутствует единая методика оценки остаточного ресурса. Использование тензометрии при испытаниях машин в реальных условиях эксплуатации дает возможность наглядно регистрировать значения деформаций во времени. В статье приводится сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния, выполненный в программном комплексе SolidWorks Simulation с помощью метода конечных элементов (МКЭ) и практическим измерением с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП «Е14-140-М»).

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние металлоконструкции, АЦП, тензометрия, кран-балка, мостовой кран.

Введение.

Металлоконструкции грузоподъемных машин, отработавших свой нормативный срок, требуют особого контроля. На сегодняшнее время отсутствует единая методика оценки остаточного ресурса [1-3]. Цель данной статьи показать возможное применение тензометрического комплекса на базе аналого-цифрового преобразователя АЦП «Е14-140-М» ООО «Л КАРД» г. Москва в паре с персональным компьютером, на который установлен программный пакет «PowerGraph» [4]. Программы, входящие в состав этого пакета, обладают аппаратной независимой архитектурой. Общие настройки регистрации данных предусматривают выбор произвольного набора каналов, использование

любых частот дискретизации, поддерживаемых устройством, а также использование аппаратной и программной синхронизации [5]. Эксперимент проводится согласно основным понятиям подключения полумостовой схемы тензодатчиков [6].

Изложение основных материалов. С недавнего времени лаборатория подъемно-транспортной техники Луганского национального университета им. В. Даля, столкнулась с проблемой измерительного оборудования которое требует обновления. Лабораторные установки имеют «наклейку» полумостовой схемы тензодатчиков. Это делалось в связи с тем, что такая схема более простая в исполнении и оборудование в частности усилитель имеет возможность работать как с мостовой схемой подключения так и с полумостовой. Однако АЦП имеет принципиальное подключение усилителя типа LP-04 через мостовую схему. Решено было собрать новый усилитель, схему которого предлагает компания ООО «Л КАРД». Модернизировать его с добавлением на борт подстраиваемой полумостовой схемой. В полном подключении с тензодатчиками на лабораторных установках получается полноценный электротензомост. Эксперимент будет проводиться на балке коробчатого сечения. Полученные результаты будут сопоставлены с расчетом численного метода конечных-элементов (МКЭ). Для этого создана 3D математическая модель балки в программе SolidWorks Simulation. МКЭ является аналитической процедурой. Изучаемый объект является трехмерным, следовательно, его поведение описывается уравнениями с частными производными, что является достаточно трудной и громоздкой задачей. Появление вычислительной техники облегчило эту задачу, сведя трудоемкость к минимуму, и дало возможность учитывать большое количество членов ряда, представляющего поле

напряжений или перемещений. То есть МКЭ в данное время является одним из самых популярных и востребованных численных методов строительной механики [7].

В модели коробчатой балки сохранены основные конструктивные особенности: форма стенок, верхнего и нижнего пояса. Замерена толщина металла, и выбрано среднее значение методом наименьших квадратов. Проанализировано

расположение внутренних диафрагм, делящихся на две группы: большего типа, расположенные на всю длину нижнего пояса сечения, и малого типа, равные 1/3 от высоты стенки. Расстояния между диафрагмами составило 200мм. Общая длина балки 2450мм. Ширина вместе с поясом 130мм. Ширина без пояса 105мм. Тип опор – шарнир. Геометрические характеристики приведены на рис. 1.

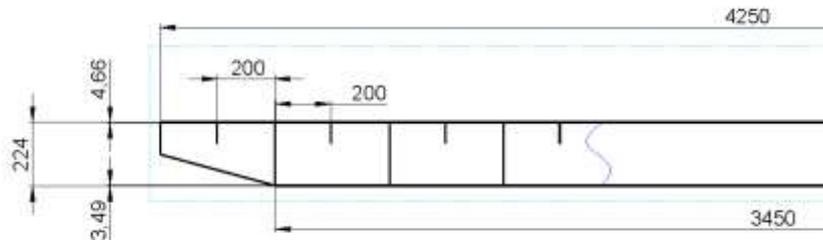


Рис. 1. Чертеж балки коробчатого типа

Балка выставляется по уровню в горизонтальной плоскости. Нагрузка производится с помощью динамометра. Путем винтовой пары и показания стрелочного индикатора, задается усилие, регламентированное паспортом динамометра. Площадь давления контактной поверхности, через которую передается усилие находится по середине верхнего пояса. Балка имеет шарнирное закрепление. При таком варианте распределения силы нижней пояс является более нагруженным. Производим установку тензодатчиков в среднем сечении нижнего пояса (рис.2).

Установка тензодатчиков производится исходя из классической мостовой схемы расположения (рис. 3).

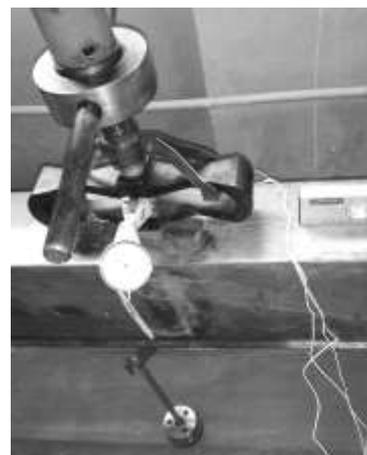


Рис.2. Лабораторная установка измерения напряженно-деформированного состояния металлоконструкции

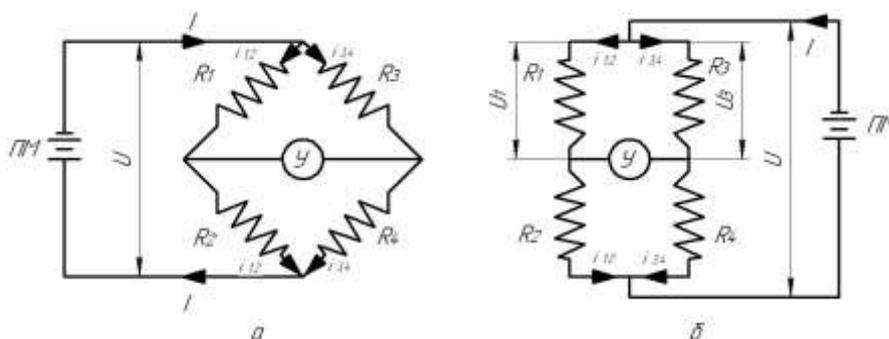


Рис. 3. Электрическая схема моста Уитстона

В данном случаи начальное сопротивление датчика $R = 100 \text{ Ом}$, коэффициент тензочувствительности $s = 2$ и $\xi = 5 \cdot 10^{-7}$, найдем, что $\Delta R = s \cdot \xi R = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-7} \cdot 100 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$. Следовательно, для стали с модулем упругости $2 \cdot$

10^6 и напряжением $0,1 \text{ МПа}$ абсолютное изменение сопротивления датчика с начальным сопротивлением 100 Ом составит $2 \cdot 10^{-4}$. Такое небольшое изменение сопротивления порождает ток малой силы, чтобы его измерить требуется

качественное оборудование. С помощью современного измерительного комплекса АЦП это не составит большого труда. Допустим, что R_1, R_2, R_3, R_4 -сопротивление плеч моста в омах, R_u – сопротивление измерительной диагонали, U – напряжение питания моста в вольтах, ПМ – (питание моста) источник электрического тока, U – усилитель. Если рассмотреть данную схему в другом виде (рис.1.б), то видно, что плечи моста параллельны, электрическое напряжение в таком случае одинаково, а токи определяются по закону Ома (1):

$$i_{1,2} = \frac{U}{R+R_2} a \text{ и } i_{3,4} = \frac{U}{R+R_4} a; \quad (1)$$

Ток в измерительной диагонали можно представить в виде (2):

$$I_U = U \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_U (R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_3 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)}; \quad (2)$$

Наглядно видно, что сила тока в измерительной диагонали моста зависит от величины сопротивления плеч, сопротивления измерительной диагонали и напряжения питания моста. Максимальное значение тока в измерительной диагонали будет достигнуто при таком значении R_u которое удовлетворяет условию (3).

$$R_U = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_3} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}; \quad (3)$$

При использовании тензометрии это условие должно выполняться. Подставим в уравнение тока измерительной диагонали моста (2) значение R_U (3), тогда:

$$I_U = \frac{U}{2} \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)}. \quad (4)$$

Рассмотрим величину тока в измерительно диагонали при измерении деформаций датчика мостовой схемы в нашем случае: $R_1=R_2=R_3=R_4$ и $R' = R''$. Пусть датчик включен в первое плечо имеет начальное сопротивление R_1 . После деформации сопротивление датчика изменится на величину ΔR , тогда:

ток в измерительной диагонали:

$$I_U = \frac{U}{8R} \cdot \frac{\Delta R}{R}; \quad (5)$$

так как

$$\frac{U}{2R} = i_0; \quad (6)$$

то

$$I_U = \frac{1}{4} i_0 \frac{\Delta R}{R}. \quad (7)$$

где i_0 - ток в датчике.

При $R' = R''$ получаем:

$$k = \frac{2}{1 + \frac{R''}{R'}}. \quad (8)$$

Сопротивление R'' может быть $R' > R''$ или $R' < R''$ принимаемого за параметр.

$R' < R''$ - ведет к снижению коэффициента k и, следовательно к уменьшению тока в измерительной диагонали моста, k – характеризует чувствительность моста. График изменения этого коэффициента в функции отношения $\frac{R''}{R'}$ показан на рис. 4.

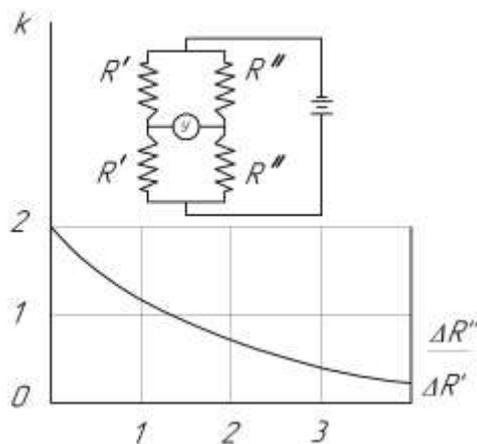


Рис. 4 Диаграмма изменения коэффициента чувствительности моста.

R_3 и R_4 – сопротивления плеч обозначенные через R'' , следует делать меньше, чем R' . Для R'' - нижний предел ограничивается возможностью построения измерительного комплекса, верхний предел не должен быть больше R' . В конечном итоге соотношения плеч должны удовлетворять условию: $R'' \leq R'$, коэффициент чувствительности моста $k \geq 1$.

Результаты исследований. Осциллограмма записи изменения силы тока при напряженно деформированном состоянии (нагрузка 1000 кг) рис. 5.

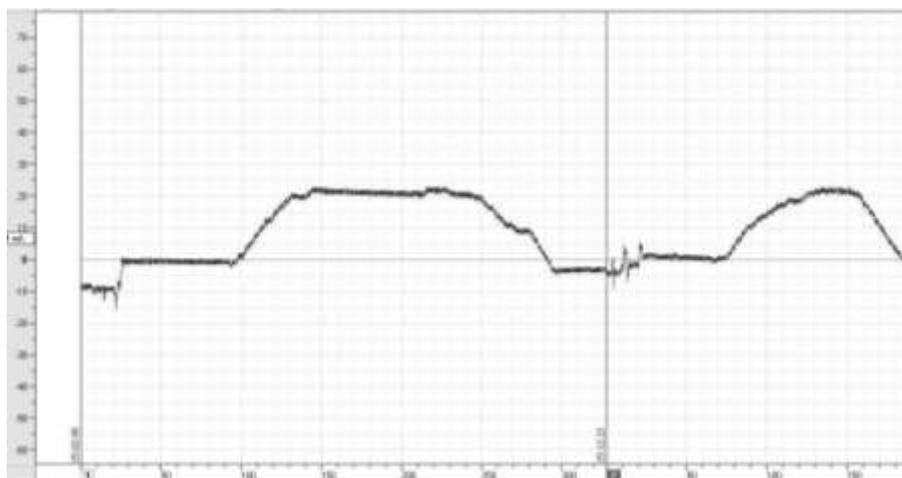


Рис.5. Оциллограмма тензометрических испытаний нагружения и разгрузки балки (1000кг).

Расчетная 3D модель показана на рис. 6.



Рис.6. Расчетная модель коробчатой балки (показана цветовая эпюра напряжений)

В таблице 1 приведены значения нагрузки балки и возникшие в нижнем поясе напряжения. Напряжения вычислены путем использования

графика тарировки [6]. Также экспериментально записан прогиб. Для сравнения указаны результаты расчета, полученные МКЭ в SolidWorks Simulation.

Результаты эксперимента

Показ. стрел. индикат. (мм)	Нагрузка на балку (кг)	Показ. милли-амперметр. (mA)	Напряжение В нижнем поясе (Мпа)	Прогиб при нагрузке (мм)	(МКЭ) Напряжение В нижнем поясе (Мпа)	(МКЭ)Прогиб при нагрузке (мм)
0,35	200	5,3	13	1,35	17,5	0,84
0,66	400	9,1	23	2,45	31,2	1,45
0,84	500	11,1	29	3,1	38	1,76
1,32	800	16,1	40,5	4,75	57,9	2,7
1,62	1000	19,8	50	5,8	71,4	3,3

Выводы. При измерении величин с помощью тензометрических методов наклейки датчиков по мостовой схеме следует знать важные свойства: 1) Равные по величине и знаку изменения сопротивлений всех четырех плеч не нарушают равновесия моста, если начальные сопротивления плеч равны. 2) Равные по величине и по знаку изменения сопротивлений смежных плеч (R1,R2,R3,R4) не выводят мост из равновесия, если R1=R2 и R3=R4. 3) Равные по величине и разные по

знаку изменения сопротивлений в смежных плечах удваивают неуравновешенность моста, а следовательно, и ток в измерительной диагонали (чувствительность моста $c = 2$). 4) Разница между результатами получившихся напряжений МКЭ и проведенным экспериментом заключается в том, что программа Simulation не учитывает потери напряжений в упругих связях. Для повышения точности требуется создать более сложную математическую 3D модель.

Л и т е р а т у р а

1. А. А. Мирошников. Оценка остаточного ресурса мостовых кранов на базе CALS технологий с учетом изменения физических свойств стали // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы Международной научно-технической конференции. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2018. — 360 с., 2018 г. — С.188-192.

2. А. А. Мирошников, Л.Я. Будиков. Оценка остаточного ресурса мостовых кранов применением CALS технологий и методов численного анализа. Материалы Международной научно-практической конференции преподавателей, студентов и молодых ученых «Транспортные системы и современные технологии», посвященной 97-й годовщине образования Луганского национального университета имени Владимира Даля. Луганск 2017.

3. Будиков Л. Я., Мирошников А. А., Криничный П. Ю. «Усовершенствование метода статических испытаний мостовых кранов позволит получать важные параметры оценки их остаточного ресурса» // Подъемно-транспортное дело. — 2018, № 1-2, стр. 10-13.

4. Измайлов Д.Ю. Виртуальная измерительная лаборатория PowerGraph / Измайлов Д.Ю. // промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. — 2007. - №3. — С 42-47.

5. Гарманов А.В. Подключение измерительных приборов / Гарманов А.В. — Москва: 2003. — 41с.

6. А. А. Мирошников, Л.Я. Будиков, П.Н. Рекиян «Анализ напряженно-деформированного состояния металлоконструкции с помощью тензометрии на базе аналого-цифрового преобразователя» // Механическое оборудование металлургических заводов. — 2018, № 2(11), стр. 32-37.

7. Мирошников А.А. Численные методы решения задач подъемно-транспортного, строительного, дорожного машиностроения №1: метод. указания: Изд-во ГОУ ВПО «Луганский нац. ун-т им. В. Даля», 2018. — 69 с.

References

1. A.A. Miroshnikov. Ocenka ostatochnogo resursa mostovyh kranov na baze CALS tehnologij s uchetom izmenenijafizicheskikh svojstv stali// Nazemnye transportno-tehnologicheskie komplekсы i sredstva. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. — Tjumen': TjumGNGU, 2018. — 360 s., 2018 g. — S.188-192.

2. A.A. Miroshnikov, L.Ja. Budikov. Ocenka ostatochnogo resursa mostovyh kranov primeneniem CALS tehnologij i metodov chislenного analiza. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii prepodavatelej, studentov i molodyh uchenyh «Transportnye sistemy i sovremennye tehnologii», posvjashhennoj 97-j godovshhine obrazovanija Luganskogo nacional'nogo universiteta imeni Vladimira Dalja. Lugansk 2017.

3. Budikov L. Ja., Miroshnikov A. A., Krinichnyj P. Ju. «Usovershenstvovanie metoda staticheskikh ispytanj mostovyh kranov pozvilit poluchat' vazhnye parametry ocenki ih ostatochnogo resursa» // Pod#emno-transportnoe delo. — 2018, № 1-2, str. 10-13.

4. Izmajlov D.Ju. Virtual'naja izmeritel'naja laboratorija PowerGraph / Izmajlov D.Ju. // promyshlennye izmerenija, kontrol', avtomatizacija, diagnostika. — 2007. - №3. — S 42-47.

5. Garmanov A.V. Podkljuchenie izmeritel'nyh priborov / Garmanov A.V. — Moskva: 2003. — 41s.

6. А. А. Мирошников, Л.Я. Будиков, П.Н. Рекиян «Анализ напряженно-деформированного состояния металлоконструкции с помощью тензометрии на базе аналого-цифрового преобразователя» // Механическое оборудование металлургических заводов. — 2018, № 2(11), стр. 32-37.

7. Miroshnikov A.A. Chislennye metody reshenija zadach pod#emno-transportnogo, stroitel'nogo, dorozhnogo mashinostroenija №1: metod. ukazanija: Izd-vo GOU VPO «Luganskij nac. un-t im. V. Dalja», 2018. — 69 s.

Miroshnikov A.A.

ANALYSIS OF CALCULATION OF THE INTENSE DEFORMED CONDITION OF METAL CONSTRUCTION BY MEANS OF TENSOMETRIC LABORATORY AND FINITE ELEMENT METHOD

Probe methods on the basis of the electrotensometric equipment was widely adopted in the equipment. By means of this technique it is possible to study work of huge range of machines, gears and the equipment, under production conditions. Perhaps, probe slowly and quickly proceeding processes, monitoring in time of deformation and tension, speed, speedup, etc. Metalwork of the load-lifting cars which have fulfilled the standard term demands special control. For today's time there is no uniform technique of assessment of residual resource. Use of tenzometriya at tests of cars in actual practice gives to operation the chance to visually register values of deformations in time. The comparative analysis of the intense deformed state executed in the program SolidWorks Simulation complex by means of the finite element method (FEM) and practical measurement by means of the analog-digital converter (ADC "E14-140-M") is given in article.

Keywords: *intense deformed condition of metal construction, analog-to-digital converter, strain gauge, frame crane, bridge crane*

Мирошников Алексей Александрович, аспирант, старший преподаватель кафедры «Промышленный и городской транспорт». ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: topalexengineering@gmail.com

Miroshnikov Aleksey Aleksandrovich graduate student, senior lecturer of the Department «Industrial and urban transport», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: topalexengineering@gmail.com

Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 29.03.2019 года

УДК 625.89; 699.871; 531.782; 620.1.05

ОБ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМАХ ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ С ЦЕЛЬЮ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ

Невшупа Р.А., Кастейоте М.

TOPICAL PROBLEMS RELATED TO APPLICABILITY OF PHOTOCATALYTIC MATERIALS TO PAVEMENTS IN ORDER TO REDUCE AIR CONTAMINATION FROM EXHAUST GASES

Nevshupa R., Castellote M.

Рассмотрены перспективы и проблемы применения новых фотокаталитических материалов на дорожных покрытиях с целью снижения загрязнения окружающего воздуха от оксидов азота и других газов и летучих соединений. Показана необходимость проведения комплексного исследования долговечности, эффективности и безопасности наноматериалов в условиях городской среды и в контакте с шинами и другими элементами, приводящими к трибоэмиссии и образованию потенциально опасных аэрозолей наночастиц. Для этих целей создана экспериментальная установка Temis-1000 позволяющая измерять удельный поток трибоэмиссии аэрозолей наночастиц и силу трения. Описаны результаты предварительных исследований трех классов фотокаталитических материалов.

Ключевые слова: фотокатализ, дорожные покрытия, аэрозоли наночастиц, трибоэмиссия

Введение. Ускоренный рост количества автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, особенно дизельных, привел к существенному ухудшению качеству воздуха в городских агломерациях. Несмотря на то, что многочисленные исследования и значительные усилия, направленные на снижение выброса монооксида в выхлопных газах дали свои плоды и привели к созданию эффективных катализаторов, проблема загрязнения воздуха оксидами азота и микро- и наночастицами остается весьма насущной. По оценкам Европейской комиссии загрязнение воздуха вызывает около 370 000 преждевременных смертей в ЕС, из них около 16 000 в Испании. Исследование, проведенное в 2008 году, оценило влияние аэрозольных микро и наночастиц на здоровье граждан в 26 городах в 12 европейских странах, включая Барселону, Бильбао, Мадрид, Севилью и Валенсию. В соответствии с данным исследованием («Arheis 3.» Загрязнение воздуха и здоровье: Европейская информационная система») снижение концентраций аэрозольных

частиц с размером менее 2,5 мкм (параметра PM_{2,5}) до 12 мкг/м³ в каждом городе могло бы предотвратить 11 375 преждевременных смертей. Отчет Европейского сообщества ЕАОС № 9/2013 (Качество воздуха в Европе - 2013 г., Технический отчет ЕАОС № 8/2013 - Ежегодная инвентаризация парниковых газов Европейского союза за 1990-2011 гг. и отчет инвентаризации за 2013 г.) указывает, что загрязнение воздуха в Мадриде для частиц PM_{2,5} превышает установленный предел на 8-25%. Европейский комиссар по окружающей среде подчеркнул, что загрязнение воздуха в Европе сокращает продолжительность жизни в среднем на 8 месяцев, и призвал правительства достичь целевых показателей качества воздуха и сократить загрязнение в краткосрочной перспективе (Доклад ЕАОС № 49/2012 и 9/2013).

Некоторые эпидемиологические и токсикологические исследования выявили четкую связь между уровнем загрязнения воздуха и госпитализацией, а также количеством смертей среди пациентов, показывая, как высокие уровни загрязнения вдыхаемого воздуха, приводят к кардиореспираторным заболеваниям, особенно у детей, пожилых людей и больных. Эти проблемы со здоровьем включают аритмии, снижение объема легких, астму, хронический бронхит, синусит, кашель и аллергию. Во всем мире загрязнение воздуха является причиной порядка 800 000 преждевременных смертей в год. Ограничение движения транспорта в пределах городских агломераций оправдано лишь на территории исторических и культурных зон, а в целом в агломерации контрпродуктивно, поскольку является тормозом экономического развития территории и снижения ее конкурентоспособности ввиду невозможности обеспечить все транспортные потребности исключительно за счет общественного транспорта либо транспорта, не имеющего

заряжающих газовых эмиссий (электрический, на возобновляемых источниках и т.д.). Среди неограничительных и неадминистративных мер по снижению загрязнения воздуха следует отметить совершенствование процесса сгорания топлива в двигателях внутреннего сгорания, разработку технологий нейтрализации выхлопных газов и разработку материалов для очистки окружающего воздуха. Если первые две меры могут дать заметный эффект в средне- и долгосрочном периоде, последняя мера отличается значительной степенью разитости технологий и может быть широко применена в краткой- и среднесрочной перспективе. Эта технология базируется на процессе фотокаталитического окисления и минерализации газообразных оксидов азота с использованием полупроводниковых материалов, которые активируются солнечным излучением.

В данной статье рассматриваются актуальные проблемы применения фотокатализаторов для очистки

1. ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ И ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

На сегодняшний день оксид титана (анатаз) в форме наночастиц размером в 10-30 нм является единственным широко коммерциализуемым фотокатализатором. Несмотря на ряд положительных характеристик этого материала: дешевизну, доступность, отработанность и простоту технологического процесса, - его эффективность при активировании солнечным излучением не велика из-за значительной ширины запрещенной зоны, что делает фотокатализ эффективным только в ультрафиолетовой зоне спектра, который, в свою очередь, не превышает порядка 6% от общего потока солнечного излучения. Поэтому, со времени открытия фотокаталитического расщепления воды в 70-х годах, много усилий было уделено повышению эффективности солнечной адсорбции за счет уменьшения ширины запрещенной зоны полупроводниковых фотокатализаторов и увеличения времени жизни возбужденных электронно-дырочных пар [1]. Наиболее перспективные подходы основаны на нарушении периодичности решетки в кристаллическом фотокатализаторе, введении кислородных вакансий [2] и легировании оксидных фотокатализаторов легкими неметаллическими элементами, обычно С, В и N [3] или поверхностное гидрирование [4]. Для этой цели были предприняты различные технологические стратегии [3]:

1) золь-гель, гидротермальные или химические методы синтеза легированных фотокатализаторов;

2) модификация исходного фотокатализатора путем нагревания в вакууме или в атмосфере, обогашенной азотом и водородом;

3) травление исходного фотокатализатора в растворах (NaBH_4 , KBH_4 , N_2H_4 , NaN и др.);

4) диффузионное легирование исходного TiO_2 при высокой температуре газообразными, жидкими или твердыми прекурсорами;

5) синтез сложных фотокатализаторов с помощью магнетронного распыления;

6) инжиниринг наночастиц ядро-оболочка и наночастиц, полученных из нанотрубок CN.

В последнее время также было исследовано несколько альтернативных экологически чистых методов синтеза / модификации фотокатализатора с использованием менее опасных реагентов, таких как полианилин, глицин, алифатические амины и т. д. [4, 5]. Следует подчеркнуть, что эти реагенты используются во время синтеза материала или при его обработке под действием высокой температуры и/или давления. Деграция фотокаталитической активности в течение срока службы обычно связана с загрязнением поверхности и адсорбцией органических и неорганических соединений, что вызывает затенение поверхности от солнечного излучения, поглощение радикалов и электронов, образующихся при возбуждении фотокатализаторов, а изменение химической структуры самого фотокатализатора, который практически не подвергается трансформации [6].

Кинетические законы фотокаталитических реакций устанавливают линейную взаимосвязь скорости поглощения оксидов азота от освещенности в заданной спектральной области, в которой происходит поглощение света, и концентрации газов в воздухе. Наибольшее распространение получили приложения фотокаталитических материалов на вертикальных поверхностях (фасады, тканевые материалы навесов и т.п.), а также на некоторых горизонтальных поверхностях (кровельные покрытия и др.). Поскольку наиболее высокая концентрация оксидов азота наблюдается у поверхности дороги вблизи от выхлопа автомобилей, логично располагать фотокатализаторы непосредственно на поверхности или внутри дорожного покрытия.

В настоящее время на рынке имеется множество фотокаталитических продуктов, которые позиционируются их производителями как наиболее оптимальные решения. Можно разделить все имеющиеся материалы на три класса по типу связующего или способу нанесения: а) жидкие цементные суспензии, б) жидкие органические суспензии на водной основе и в) материалы для добавления в цементную или бетонную основу. Первые два класса могут наноситься на имеющиеся твердые покрытия (асфальтовые, асфальтобетонные, цементные, каменные и т.п.). Для улучшения адгезии жидкие цементные смеси рекомендуется использовать на пористых покрытиях. Третий класс материалов внедряется в цементный раствор на стадии изготовления.

Хотя фотокаталитическая технология очистки атмосферного воздуха была экспериментально подтверждена в лабораторных условиях и в

некоторых пилотных проектах (Церковь Дио-Падре-Мизерикордиозо в Риме, улица Борго Палаццо в Бергамо, Дом музыки в Шамбери (Франция) и др.)), широкое применение современных фотокаталитически активных строительных материалов в реальных городских условиях все еще остается сложной проблемой, поскольку отсутствует достоверная информация об эффективности технологии в реальных условиях с глобальных позиций. Особенное беспокойство вызывает широкое внедрение наноматериалов в городскую среду, особенно в дорожные покрытия, которые подвержены абразивному изнашиванию под действием шин автотранспорта, ветровой и дождевой эрозии, циклам замерзания-оттаивания и др. факторам, что требует оценки потенциальных рисков попадания наноматериалов в водную и воздушную среду, так как это может представлять опасность для здоровья людей, а также для фауны и флоры [7]. Помимо этого не ясны другие вопросы связанные с функциональными характеристиками, долговечностью и т.п. Все это не способствует тому, чтобы государственные органы власти, а также профессиональные сообщества (архитекторы, строительные инженеры) использовали не до конца проверенные технологии, поскольку не ясен баланс между преимуществами и возможными проблемами, связанными с массовым использованием этой технологии.

В качестве примера ниже приводятся основные вопросы, поставленные городским правительством города Мадрида перед производителями и исследователями фотокаталитических материалов для дорожных покрытий, ответ на которые позволил бы разблокировать значительные инвестиции в применение фотокаталитических материалов на улицах этого города, страдающего от загрязнения воздушной среды:

1) Гарантирует ли применение фотокаталитических покрытий функциональность, которая требуется для покрытий, которые должны быть установлены в городах, например, механическое сопротивление, свойства скольжения?

2) Можно ли экстраполировать результаты лабораторных испытаний для оценки эффективности различных продуктов в реальных условиях?

3) Как различные аспекты, такие как метеорологические условия (ветер, относительная влажность, температура), характеристики материалов (цвет, текстура, шероховатость), возможное снижение эффективности из-за загрязнения (разлив масел, топлива, следы шины), характеристики улицы или способы нанесения будут влиять на эффективность и долговечность фотокаталитических материалов?

4) Какова долговечность фотокаталитического эффекта и фотокаталитического покрытия по сравнению с нормальным?

5) Есть ли побочные эффекты? Например, есть ли эмиссия аэрозольных наночастиц из фотокаталитически активных покрытий в течение всего срока их службы? Опасны ли они для здоровья человека? Возможно ли, что образуются некоторые вредные промежуточные продукты фотокатализа загрязняющих веществ? Могут ли нитраты, образующиеся в процессе минерализации NOx, повлиять на очистку сточных вод или повысить риск эвтрофикации?

6) Какова экономическая целесообразность установки такого типа дорожных покрытий в масштабе, достаточном для значительного уменьшения загрязнения города?

Поиску ответов на эти вопросы посвящен исследовательский проект Photoscaling, получивший финансирование Комиссии Европейского Союза в рамках программы Life+. В консорциум проекта, руководимый проф. М. Кастейоте, входит Институт строительных наук им. Э. Торроха, Политехнический университет Мадрида и городской совет Мадрида. Для проведения полунатурных исследований были созданы два полигона с несколькими платформами, на которых размещены восемь типов фотокаталитических дорожных покрытий всех трех классов. Эффективность материалов исследуется в зависимости от метеорологических условий и других условий, характерных для городской среды. Для этого исследования были разработаны два новых устройства для измерения фотокаталитической активности материалов на местности (PHOTONSITE [8]), а также для измерения коэффициента трения и интенсивности генерации аэрозольных частиц при изнашивании в контакте с шиной (Temis-1000).

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ТРИБОЭМИССИИ АЭРОЗОЛЬНЫХ НАНОЧАСТИЦ С ИХ ПОВЕРХНОСТИ

Экспериментальные измерения процессов трибоэмиссии аэрозольных наночастиц из наноматериалов представляют большой интерес для оценки возможности применения этих материалов и экспозиции людей аэрозолям [9]. В ранних исследованиях применялось простые схемы, объединяющие трибометр и устройство для измерения аэрозолей. Последний, как правило, состоял из негерметичной камеры, окружающей зону генерации аэрозолей [10-12] и приборы измерения (счетчик наночастиц). Во многих случаях полученные данные о концентрации и распределении по размерам аэрозольных наночастиц зависят от конкретной схемы экспериментальной установки и не могут использоваться для сравнения характеристик трибоэмиссии, полученных в различных лабораториях. Койвисто [13] отметил, что данные

по потокам трибоэмиссии аэрозольных наночастиц в литературе различаются на 6 порядков, что связано с отсутствием согласованной экспериментальной методологии. Этот недостаток был частично преодолен путем использования герметичной или почти герметичной аэрозольной камеры и расположением двигателей привода трибометра за её пределами [13-16]. Аналогичный подход, но в значительно большем масштабе, был использован для измерения трибоэмиссии аэрозолей в установке моделирования контакта «шина-поверхность дороги» [17, 18]. Для точного количественного определения характеристик трибоэмиссии наночастиц необходимо учитывать процессы динамики аэрозольных частиц, в том числе коагуляцию, осаждение в результате броуновского движения и турбулентной диффузии, гравитации и турбофореза [19, 20]. Кроме того, на измеренный поток трибоэмиссии может существенно влиять движение компонентов трибометра (вращающегося диска и т.п.) вследствие турбулизации воздушного потока и ускоренного осаждения наночастиц на внутренних поверхностях. Это явление, остававшееся незамеченным исследователями, может быть одной из причин разброса литературных данных.

Как известно, для получения достоверных данных о трибологических процессах конфигурация и условия трибологического эксперимента должны в

значительной степени соответствовать моделируемым процессам. Поэтому, для экспериментального моделирования трибоэмиссии наночастиц нами была разработана установка Temis-1000, в которой поверхность образца дорожного покрытия подвергается механическому воздействию (скольжение, качение, скольжение/качение) шины размером 3,5/8 дюймов. Внешний вид установки показан на Рис. 1. Шина может вращаться при помощи электродвигателя мощностью 1 кВт, а также совершать возвратно-поступательные движения в горизонтальной плоскости при помощи винтовой передачи. Шина помещена внутри аэрозольной камеры объемом около 0,6 м³, к которой через трубопровод подключен счетчик аэрозольных наночастиц. Сила трения измеряется при помощи измерителя момента на валу привода шины. Сигнал измерителя момента оцифровывается с коэффициентом усиления 10 Нм/В в диапазоне ±10 В и разрешением 14 бит.

Образец фотокаталитического материала при помощи специального приспособления может закрепляться горизонтально в нижней части установки, либо установка может размещаться непосредственно на дорожном покрытии в заданном месте на улице или дороге, для чего предусмотрены устройства для ее транспортирования.



а)



б)

Рис. 1. а) Внешний вид установки Temis-1000 для исследования трения, изнашивания и трибоэмиссии аэрозолей наночастиц из фотокаталитических дорожных покрытий; б) Проведение испытаний асфальтового дорожного покрытия с цементной фотокаталитической суспензией на полигоне на территории института им. Э. Торроха

Нормальная нагрузка прилагается к оси шины при помощи калиброванных навесок в диапазоне 135-700 Н. В составе установки имеется двухступенчатая система фильтрации класса НЕРА N13, что позволяет удалять естественные аэрозольные частицы в воздухе перед началом эксперимента или удалять эмиттированные частицы после окончания эксперимента с целью защиты персонала от нежелательной экспозиции аэрозолям наночастиц. Концентрация наночастиц в интервале

размеров от 11 до 360 нм в воздухе после трехминутной фильтрации составляет менее $0.6 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$.

Предварительные испытания различных материалов дорожных покрытий с фотокаталитическими покрытиями и без них показали, что при чистом скольжении (без качения) наблюдается наиболее значительный поток трибоэмиссии аэрозольных наночастиц, концентрация которых в течение 6 минут возростала

с 0.3×10^4 до $(0.8-2.0) \times 10^5$ см⁻³. Асфальтовые покрытия значительно превышали цементные покрытия по потоку трибоэмиссии. Также было обнаружено, что фотокаталитические покрытия приводят к некоторому увеличению потока трибоэмиссии, однако пока не ясно идет ли речь о частицах оксида титана или связующего. В настоящее время продолжают исследования, в которых аэрозольные частицы осаждаются на тонких фильтрах и анализируются при помощи растровой электронной микроскопии высокого разрешения и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии.

Выводы. Окончательные результаты комплексных испытаний материалов еще не получены (проект продолжается в 2019 г.). Однако, предварительные данные указывают, что суспензии с органическим связующим обладают удовлетворительными свойствами: долговечность >20 месяцев, остаточная эффективность >25%, отсутствие следов соединений титана и избытка нитратов в сточных водах, отсутствие аэрозольных частиц в воздухе. Суспензии на цементной основе обладают низкой долговечностью по фотокаталитической активности, а материалы, внедренные в цементную матрицу, обладают хорошей долговечностью, но относительной низкой активностью.

Это исследование проведено в рамках проекта Life+ Photoscaling (LIFE13 ENV/ES/001221) финансируемого Комиссией Европейского Союза и проекта Tevalrisk (BIA2016-79582-R) Министерства по науке, инновациям и университетам Испании.

Литература

1. J.M. Coronado, A Historical Introduction to Photocatalysis, in: J.M. Coronado, F. Fresno, M.D. Hernández-Alonso, R. Portela (Eds.) Design of Advanced Photocatalytic Materials for Energy and Environmental Applications, Springer London, London, 2013, pp. 1-4.
2. M. Wang, B. Nie, K.-K. Yee, H. Bian, C. Lee, H.K. Lee, B. Zheng, J. Lu, L. Luo, Y.Y. Li, Low-temperature fabrication of brown TiO₂ with enhanced photocatalytic activities under visible light, *Chemical Communications*, 52 (2016) 2988-2991.
3. S. Bai, N. Zhang, C. Gao, Y. Xiong, Defect engineering in photocatalytic materials, *Nano Energy*, 53 (2018) 296-336.
4. J. Kavi, S.G. Ullattil, A. Alshahrie, P. Periyat, Polyaniline as Photocatalytic Promoter in Black Anatase TiO₂, *Solar Energy*, 158 (2017) 792-796.
5. L. Lo Presti, M. Ceotto, F. Spadavecchia, G. Cappelletti, D. Meroni, R.G. Acres, S. Ardizzone, Role of the Nitrogen Source in Determining Structure and Morphology of N-Doped Nanocrystalline TiO₂, *The Journal of Physical Chemistry C*, 118 (2014) 4797-4807.
6. A. McDonagh, L. Tijing, H.K. Shon, Fouling and Inactivation of Titanium Dioxide-Based Photocatalytic Systems AU - Katz, Aaron, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45 (2015) 1880-1915.
7. J. Yin, C. Kang, Y. Li, Q. Li, X. Zhang, W. Li, Aerosol inhalation exposure study of respiratory toxicity induced by 20

nm anatase titanium dioxide nanoparticles, *Toxicology Research*, 3 (2014) 367-374.

8. E. Jiménez-Relinque, R. Hingorani, F. Rubiano, M. Grande, Á. Castillo, M. Castellote, In situ evaluation of the NO_x removal efficiency of photocatalytic pavements: statistical analysis of the relevance of exposure time and environmental variables, *Environmental Science and Pollution Research*, (2019).

9. T. Schripp, M. Wensing, E. Uhde, T. Salthammer, C. He, L. Morawska, Evaluation of Ultrafine Particle Emissions from Laser Printers Using Emission Test Chambers, *Environmental Science & Technology*, 42 (2008) 4338-4343.

10. D. Göhler, M. Stintz, L. Hillemann, M. Vorbau, Characterization of Nanoparticle Release from Surface Coatings by the Simulation of a Sanding Process, *The Annals of Occupational Hygiene*, 54 (2010) 615-624.

11. M. Vorbau, L. Hillemann, M. Stintz, Method for the characterization of the abrasion induced nanoparticle release into air from surface coatings, *Journal of Aerosol Science*, 40 (2009) 209-217.

12. L. Schlagenhauf, B.T.T. Chu, J. Buha, F. Nüesch, J. Wang, Release of Carbon Nanotubes from an Epoxy-Based Nanocomposite during an Abrasion Process, *Environmental Science & Technology*, 46 (2012) 7366-7372.

13. C. Pang, N. Neubauer, M. Boyles, D. Brown, N. Kanase, D. Hristozov, T. Fernandes, V. Stone, W. Wohlleben, A. Marcomini, Releases from transparent blue automobile coatings containing nanoscale copper phthalocyanine and their effects on J774 A1 macrophages, *NanoImpact*, 7 (2017) 75-83.

14. N. Shandilya, O. Le Bihan, C. Bressot, M. Morgeneyer, Emission of Titanium Dioxide Nanoparticles from Building Materials to the Environment by Wear and Weather, *Environmental Science & Technology*, 49 (2015) 2163-2170.

15. N. Shandilya, O. Le Bihan, C. Bressot, M. Morgeneyer, Evaluation of the Particle Aerosolization from n-TiO₂ Photocatalytic Nanocoatings under Abrasion, *Journal of Nanomaterials*, 2014 (2014) 11.

16. S. Sachse, F. Silva, H. Zhu, A. Irfan, A. Leszczyska, K. Pielichowski, V. Ermini, M. Blazquez, O. Kuzmenko, J. Njuguna, The Effect of Nanoclay on Dust Generation during Drilling of PA6 Nanocomposites, *Journal of Nanomaterials*, 2012 (2012) 8.

17. I. Park, H. Kim, S. Lee, Characteristics of tire wear particles generated in a laboratory simulation of tire/road contact conditions, *Journal of Aerosol Science*, 124 (2018) 30-40.

18. T. Grigoratos, M. Gustafsson, O. Eriksson, G. Martini, Experimental investigation of tread wear and particle emission from tyres with different treadwear marking, *Atmospheric Environment*, 182 (2018) 200-212.

19. B. Zhao, J. Wu, Modeling particle deposition from fully developed turbulent flow in ventilation duct, *Atmospheric Environment*, 40 (2006) 457-466.

20. A.J. Koivisto, M. Yu, K. Hämeri, M. Seipenbusch, Size resolved particle emission rates from an evolving indoor aerosol system, *Journal of Aerosol Science*, 47 (2012) 58-69.

References

1. J.M. Coronado, A Historical Introduction to Photocatalysis, in: J.M. Coronado, F. Fresno, M.D. Hernández-Alonso, R. Portela (Eds.) Design of Advanced Photocatalytic Materials for Energy and Environmental Applications, Springer London, London, 2013, pp. 1-4.
2. M. Wang, B. Nie, K.-K. Yee, H. Bian, C. Lee, H.K. Lee, B. Zheng, J. Lu, L. Luo, Y.Y. Li, Low-temperature fabrication of brown TiO₂ with enhanced photocatalytic activities under visible light, *Chemical Communications*, 52 (2016) 2988-2991.
3. S. Bai, N. Zhang, C. Gao, Y. Xiong, Defect engineering in photocatalytic materials, *Nano Energy*, 53 (2018) 296-336.

4. J. Kivil, S.G. Ullattil, A. Alshahrie, P. Periyat, Polyaniline as Photocatalytic Promoter in Black Anatase TiO₂, Solar Energy, 158 (2017) 792-796.

5. L. Lo Presti, M. Ceotto, F. Spadavecchia, G. Cappelletti, D. Meroni, R.G. Acres, S. Ardizzone, Role of the Nitrogen Source in Determining Structure and Morphology of N-Doped Nanocrystalline TiO₂, The Journal of Physical Chemistry C, 118 (2014) 4797-4807.

6. A. McDonagh, L. Tijing, H.K. Shon, Fouling and Inactivation of Titanium Dioxide-Based Photocatalytic Systems AU - Katz, Aaron, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 45 (2015) 1880-1915.

7. J. Yin, C. Kang, Y. Li, Q. Li, X. Zhang, W. Li, Aerosol inhalation exposure study of respiratory toxicity induced by 20 nm anatase titanium dioxide nanoparticles, Toxicology Research, 3 (2014) 367-374.

8. E. Jiménez-Relinque, R. Hingorani, F. Rubiano, M. Grande, Á. Castillo, M. Castellote, In situ evaluation of the NO_x removal efficiency of photocatalytic pavements: statistical analysis of the relevance of exposure time and environmental variables, Environmental Science and Pollution Research, (2019).

9. T. Schripp, M. Wensing, E. Uhde, T. Salthammer, C. He, L. Morawska, Evaluation of Ultrafine Particle Emissions from Laser Printers Using Emission Test Chambers, Environmental Science & Technology, 42 (2008) 4338-4343.

10. D. Göhler, M. Stintz, L. Hillemann, M. Vorbau, Characterization of Nanoparticle Release from Surface Coatings by the Simulation of a Sanding Process, The Annals of Occupational Hygiene, 54 (2010) 615-624.

11. M. Vorbau, L. Hillemann, M. Stintz, Method for the characterization of the abrasion induced nanoparticle release into air from surface coatings, Journal of Aerosol Science, 40 (2009) 209-217.

12. L. Schlagenhauf, B.T.T. Chu, J. Buha, F. Nüesch, J. Wang, Release of Carbon Nanotubes from an Epoxy-Based Nanocomposite during an Abrasion Process, Environmental Science & Technology, 46 (2012) 7366-7372.

13. C. Pang, N. Neubauer, M. Boyles, D. Brown, N. Kanase, D. Hristozov, T. Fernandes, V. Stone, W. Wohlleben, A. Marcomini, Releases from transparent blue automobile coatings containing nanoscale copper phthalocyanine and their effects on J774 A1 macrophages, NanoImpact, 7 (2017) 75-83.

14. N. Shandilya, O. Le Bihan, C. Bressot, M. Morgener, Emission of Titanium Dioxide Nanoparticles from Building Materials to the Environment by Wear and Weather, Environmental Science & Technology, 49 (2015) 2163-2170.

15. N. Shandilya, O. Le Bihan, C. Bressot, M. Morgener, Evaluation of the Particle Aerosolization from n-TiO₂ Photocatalytic Nanocoatings under Abrasion, Journal of Nanomaterials, 2014 (2014) 11.

16. S. Sachse, F. Silva, H. Zhu, A. Irfan, A. Leszczyska, K. Pielichowski, V. Ermioni, M. Blazquez, O. Kuzmenko, J. Njuguna, The Effect of Nanoclay on Dust Generation during Drilling of PA6 Nanocomposites, Journal of Nanomaterials, 2012 (2012) 8.

17. I. Park, H. Kim, S. Lee, Characteristics of tire wear particles generated in a laboratory simulation of tire/road contact conditions, Journal of Aerosol Science, 124 (2018) 30-40.

18. T. Grigoratos, M. Gustafsson, O. Eriksson, G. Martini, Experimental investigation of tread wear and particle emission from tyres with different treadwear marking, Atmospheric Environment, 182 (2018) 200-212.

19. B. Zhao, J. Wu, Modeling particle deposition from fully developed turbulent flow in ventilation duct, Atmospheric Environment, 40 (2006) 457-466.

20. A.J. Koivisto, M. Yu, K. Hämeri, M. Seipenbusch, Size resolved particle emission rates from an evolving indoor aerosol system, Journal of Aerosol Science, 47 (2012) 58-69.

Nevshupa R., Castellote M.
TOPICAL PROBLEMS RELATED TO APPLICABILITY OF PHOTOCATALYTIC MATERIALS TO PAVEMENTS IN ORDER TO REDUCE AIR CONTAMINATION FROM EXHAUST GASES

The problems and perspectives related with the application of new photocatalytic materials on pavements in order to reduce ambient air pollution from nitrogen oxides and other gases are considered. It is shown that a comprehensive experimental simulation of durability, efficiency and safety of nanomaterials in urban environments including triboemission of nanoparticles due to contacting by tires is urgently required. For this purpose, a special experimental test rig Temis-1000 for measuring specific rate of triboemission of nanoparticle aerosols and friction force was developed. The results of preliminary studies of three classes of photocatalytic materials are described.

Keywords: Photocatalysis; pavements; nanoparticle aerosols; triboemission

Невшупа Роман Александрович, д.т.н., заслуженный деятель науки Высшего Совета по научным исследованиям Испании, ведущий исследователь в Институте строительных наук им. Э. Торроха, лауреат премии им. С. Рамон-и-Кахаль, специалист в области трибологии, трибоземиссии, материаловедения, автор более 60 публикаций, 2 монографий, 6 патентов.
 E mail: r.nevshupa@csic.es

Nevshupa Roman Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Honored Scientist of the Spanish National Research Council, Leading Researcher at the Eduardo Torroja Institute of Construction Sciences (IETCC-CSIC), winner of the name. S. Ramon-i-Kahal, an expert in tribology, triboemission, materials science, author of over 60 publications, 2 monographs, 6 patents.

Кастейоте Армеро Марта Мария, научная степень по химической технологии (PhD), научный исследователь в Институте строительных наук им. Э. Торроха Высшего совета по научным исследованиям Испании, специалист в области фотокатализа, химических технологий для охраны окружающей среды, автор более 100 публикаций.

Casteiote Armero Marta Maria, a scientific degree in chemical technology (PhD), a scientific researcher at the Spanish National Research Council, Eduardo Torroja Institute of Construction Sciences (IETCC-CSIC). an expert in the field of photocatalysis, chemical technologies for environmental protection, the author of more than 100 publications.

Рецензент: Губачева Лариса Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Промышленный и городской транспорта» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана: 3.03.2019

УДК 628.1

ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД

Нечаев Г.И., Соколовский А.Я., Соколовская Е.А.

TRANSPORT SYSTEM OF MINE WATER TREATMENT

Nechayev G.I., Sokolovsky A.Y., Sokolovskaya E.A.

Представлены исследования возможного использования шахтных вод в качестве альтернативных источников для хозяйственно-бытового назначения.

Представлена технология приготовления питьевой воды улучшенного качества путем обогащения микроэлементами.

Обозначены альтернативные направления применения активированной воды не только для хозяйственно-бытового назначения, но и в других сферах жизнедеятельности человека (медицина, отрасли сельского хозяйства, пищевая промышленность).

Ключевые слова: Шахтные воды, питьевая, активированная кремнием вода, кремний, водоподготовка.

Введение (постановка проблемы). Проблема подготовки питьевой воды становится с каждым годом все более актуальной фактически для всех стран мира. Это связано с повсеместным ухудшением экологической обстановки. Также остро стоит вопрос защитной функции существующей технологии очистки питьевой воды по отношению к болезнетворным вирусам и бактериям.

Это в полной мере относится и к Луганской области. Луганщина – один из наиболее неблагоприятных регионов Украины по экологическим условиям. Качество воды большинства водных объектов не отвечает нормативным требованиям. Многолетние наблюдения за динамикой качества поверхностных вод отмечают тенденцию увеличения уровня загрязненности (более 10 ПДК) и числа случаев экстремально высокого содержания (свыше 100 ПДК) загрязняющих веществ в водных объектах [13].

Луганская область, по запасам водных ресурсов относится к недостаточно обеспеченным. Состояние водных источников и систем централизованного водоснабжения не может в полной мере обеспечить требуемого качества питьевой воды.

Водопроводная вода является недоочищенной, ограниченного применения, так как технология

водоочистки была рассчитана на некогда чистые озерные, речные и подземные водозаборы, которые за последние 30-40 лет были загрязнены промышленными отходами.

В связи с этим проводится гиперхлорирование воды, что, в свою очередь небезопасно, для здоровья населения в связи с образованием хлорорганических соединений.

Применяемые технологии химводоочистки приводят к осаждению кремния из воды даже в случае его высокого содержания в истоке. Поэтому при подаче воды в систему водоснабжения количество кремния в ней резко уменьшается.

Особенно остро вопрос стоит обеспечения питьевой водой сейчас на Донбассе. Имеющиеся источники водоснабжения не обеспечивают нормативную потребность в питьевой воде. Увеличение подачи воды за счет местных водисточников из-за ограниченных запасов питьевой воды в подземных горизонтах довольно проблематично.

Основным источником хозяйственного и питьевого водоснабжения являются подземные источники. Общее количество разведанных запасов подземных вод на территории области составляет около 2800 тыс. м³, из них утверждены государственной комиссией по запасам – 1761 тыс. м³. [4] Количество подземных вод, качество которых соответствует ГОСТу «Вода питьевая», составляет около 354 тыс. куб. м в сутки, то есть 13% от общих запасов [4].

По другим источникам из разведанных запасов пресной воды стандарту ДСанПін «Вода питна» соответствует 14% [3, 5].

Луганщина постоянно испытывает дефицит питьевой воды. Юго-восточные районы получают питьевую воду с двух основных водозаборов — с Западной фильтровальной станции (ЗФС) в районе Лисичанска и Петровского водозабора в Станично-Луганском районе. В случае ограничения или прекращения подачи воды с ЗФС трудности с водоснабжением испытывают Стаханов, Кировск, Брянка, Первомайск, Красный Луч, Антрацит и Алчевск. При остановке поставок с Петровского

водозабора дефицит испытывает ряд жилых массивов Луганска, в первую очередь — верхняя часть Каменнобродского района.

Современным решением части указанной проблемы является кондиционирование и использование шахтных вод для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения

Наиболее яркое последствие дефицита кремния в организме — распространенность сердечно-сосудистых заболеваний. Человек должен ежедневно усваивать около 20 мг кремния. Питьевая вода из естественных водоемов, как правило, содержит соединения кремния с концентрацией до 10 мг/л. Если содержание кремния в питьевой воде ниже 2 мг/л, то такая вода может стать причиной многих болезней, и в первую очередь сердечно-сосудистых заболеваний [14, 15].

В соответствии с Методическими рекомендациями МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей и энергии в пищевых веществах для различных групп населения РФ кремний входит в качестве структурного компонента в составе гликозаминогликанов и стимулирует синтез коллагена. Среднее потребление кремния установлено 20-50 мг/сут. Верхний допустимый уровень не установлен [19].

Цель статьи. Исходя из того, что ряд важных вопросов, касающихся использования шахтных вод в качестве альтернативного источника питьевой воды, разработаны недостаточно и требуют дальнейших научных исследований, рассмотрен вопрос использования научных подходов в процессе усовершенствования технологии и оборудования для улучшения качества шахтной воды и возможности её использования для хозяйственно-бытового назначения.

Анализ исследований и публикаций. Теоретический анализ технической, экономической, специальной научной литературы показал, что проблема повышения эффективности работы транспортной системы забора, обработки и поставки воды потребителям рассматривается учеными с разных позиций.

До недавнего времени в науке господствовало мнение о биологической инертности и физиологической бесполезности соединений кремния.

Серьёзные научные исследования о роли кремния для здоровья людей и живых организмов освещены в монографиях В. И. Вернадского, М.Г. Воронкова, В. Ветштейна, В.Г. Гадиятова, В. Сухина, Г.И. Зелчан, Л. Зардашвили, В. Кривенко, А. Малярчикова, О.В. Мосина, Э. Михеевой, В.А. Самойловича, Н.А. Семёновой, М. Синявского, А. Паничева и др.

В последние годы однозначно установлено, что кремний относится к числу эссенциальных элементов для высших животных и человека. Обзор литературных материалов, подтверждающих этот вывод, содержится в монографиях [1, 8, 9].

Фактические данные опубликованы в трудах четырех специальных симпозиумов [11, 12, 18, 19, 22].

Материалы и результаты исследования. Подземные воды в пределах шахтного поля содержатся в породах каменноугольного и четвертичного возрастов. Воды четвертичных отложений приурочены, в основном, к песчаным аллювиальным образованиям водотоков балок, где они иногда каптируются колодцами и используются для хозяйственно-бытовых нужд. Водоносными в породах карбона являются песчаники и известняки.

Питание их происходит, в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Основные запасы подземных вод содержат песчаники, которые являются и основным источником обводнения горных выработок. Известняки в обводнении выработок в районе из-за своей малой мощности играют второстепенную роль, так как содержат незначительные запасы подземных вод.

Подземные воды, попадая в выработки шахт, взаимодействуют с обнаженными породами, рудничной атмосферой, креплением и оборудованием. Под воздействием указанных факторов превращаются в так называемые шахтные.

В настоящее время, исходя из эксплуатационных запасов подземных вод закрытых шахт, разработаны технологии, предусматривающие очистку и обеззараживание шахтных вод с получением воды питьевого качества практически по всем показателям.

Сведения о средних величинах притоков воды в стволы и квершлаг из отдельных водоносных горизонтов, представленных песчаниками и известняками, а также об их коэффициентах фильтрации на различных глубинах, по замерам приведены авторами в статье [18].

Для обоснования обеспеченности поступления воды в шахту, для примера взят водоносный горизонт шахты им. Войкова, произведен расчет возможного питания водоносных горизонтов с использованием многолетних наблюдений за количеством выпадающих атмосферных осадков, а также коэффициента подземного стока водоносных горизонтов вскрытых горными выработками. Расчет произведен по формуле 1 [1, 14].

$$Q_{\text{п}} = \frac{F \times P \times K_{\text{пс}}}{365(\text{дней}) \times 24(\text{часа})} = \frac{60 \times 10^6 \times 0,5248 \times 0,3}{365 \times 24} = 1078,35 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (1)$$

где, F — площадь питания водоносных горизонтов где расположены шахты, F = 60 км².

P — средняя величина осадков за год. По статистическим данным, за последние десять лет до 2014 г. средняя величина осадков за год на

территории Луганской обл. составляет 524,8 мм в год [18].

$K_{пс}$ – коэффициент подземного стока для водоносных горизонтов, вскрытых горными выработками, $K_{пс} = 0,2 \div 0,4$. Принимаем $K_{пс} = 0,3$ [7].

Расчет показывает, что приток использования воды из шахт обеспечивается атмосферным питанием.

Эта величина поступления притока воды в шахту по степени изученности отнесена к категории запаса В [1].

Подземные воды, содержащиеся в песчаниках каменской и алмазной свит, по своему химическому составу идентичны и относятся к гидрокарбонатно-сульфатно-натриевому и натриево-кальциевому типам с общей жесткостью от 6,3 до 10,0 мг-экв/дм³ [6].

Минерализация вод, распространенных до глубины 150 м, изменяется от 1023 до 1540 мг/дм³. Подземные воды имеют минерализацию,

характерную для пресных вод. Такая минерализация характерна для углепромышленных районов, в которых распространены антрациты [6].

Технологический процесс очистки шахтных вод подробно представлен в [10] в настоящей статье представим только принципиальную технологическую схему очистки шахтных вод (рис. 1).

По результатам исследований химического состава, токсикологических, органолептических показателей, радиационной безопасности и физиологической полноценности шахтных вод (на примере шахты им. Войкова г. Свердловск), а также анализа данных их химического состава за предшествующие годы наблюдается устойчивая тенденция снижения концентрации загрязнений и улучшение качественных показателей шахтной воды, которая по большинству показателей соответствует требованиям ДСанПиН «Вода питна...».

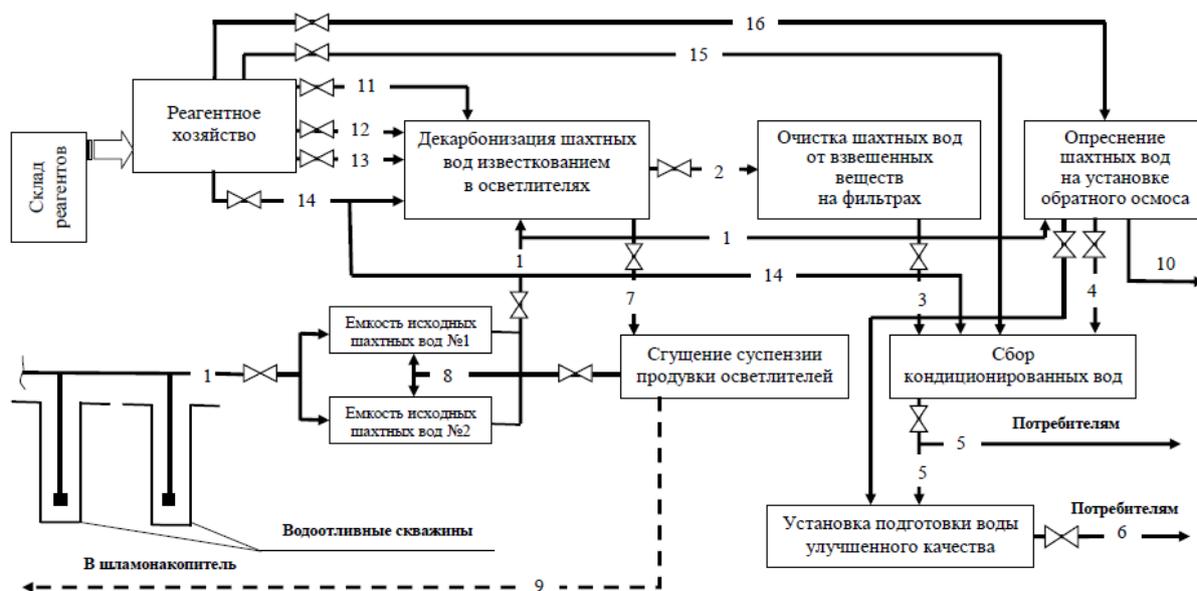


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема очистки шахтных вод

1 – исходные шахтные воды; 2 – известкованные, осветлённые шахтные воды; 3 – фильтрованные шахтные воды; 4 – опреснённые шахтные воды; 5 – кондиционированные шахтные воды; 6 – вода улучшенного качества; 7 – суспензия продувки осветлителей; 8 – осветленная вода после отстойников; 9 – шламовая суспензия; 10 – концентрат установки обратного осмоса; 11 – известковое молоко; 12 – раствор хлористого железа; 13 – раствор полиакриламида; 14 – раствор гипохлорита натрия; 15 – раствор фторида натрия; 16 – раствор H₂SO₄

В то же время отмечается несоответствие шахтной воды по гигиеническим требованиям: сухому остатку, жесткости, щелочности и концентрации взвешенных веществ, фторидов и сульфатов .

Современные технологии водоподготовки позволяют произвести очистку шахтных вод в соответствии с требованиями ДСанПиН «Вода питна...» и использовать её для целей хозяйственно-питьевого назначения.

Анализ гидрогеологических исследований показывает, что запасы воды в горных выработках могут значительно увеличить обеспечение потребности населения [18]. О целебных свойствах кремния упоминается в трактатах древних философов. Его использовали для срезания бородавок, для отделки стен в помещениях, где хранилось мясо, для присыпки ран в виде порошка, что предотвращало гангрену, кремниевые жернова на мельницах позволяли получать муку с отменными хлебопекарными и вкусовыми

качествами. Издавна кремнием выкладывали дно и внутреннюю поверхность колодцев, так как было замечено, что люди, употреблявшие воду из таких колодцев, меньше болеют, и такая вода необыкновенно прозрачная, вкусная и целебная.

Именно кремний лежит в основе энергоинформационного обмена в космосе и на Земле. Из таблицы химического состава Земли, что самым распространенным элементом в этом мире является кислород — 47 %, второе место занимает кремний — 29,5 %, а содержание остальных элементов — значительно меньше.

Наиболее удобным источником кремния в организме человека считается кремниевая вода. Кремниевая вода – вода, настоянная на природном кремне. Способ насыщения воды кремнием был рекомендован белорусским учёным А.Д. Малярчиковым.

Кремень образовался в теплых водах Мелового периода при отмирании колоний живых организмов, сохраняет в своем составе их раковины и скелеты. Черный кремень - минерал, основа которого состоит из двуокиси кремния.

Черный кремень сохранился до наших времен в своем первоначальном виде. Он способен передавать в воду гомеопатические дозы двуокиси кремния, необходимые для восстановления здоровых, жизнеобеспечивающих процессов.

Воду, насыщенную микроскопическими дозами двуокиси кремния, называют кремниевой. Она может служить естественным путем пополнения кремния в организме. Водные растворы, содержащие кремний, играют огромную роль в развитии всего живого. Органические остатки в кремне - уникальные биокатализаторы (ускорители), способные перерабатывать энергию солнечного света и в десятки раз ускорять окислительно-восстановительные реакции. Эти биологические вещества являются соединениями для построения сложных органических соединений живого организма - хлорофилла и гемоглобина.

Кремний благодаря своим химическим свойствам создает электрически заряженные коллоидные системы. Они обладают свойствами сорбировать вирусы, болезнетворные микроорганизмы, не свойственные человеку. Избирательная способность коллоидных систем кремния оказывается уникальной.

Кремний - элемент, который определяет также свойства гибких структур соединительной ткани сухожилий, стенок сосудов желудочно-кишечного тракта, надкостницы, хрящей, синовиальной жидкости суставов [2, 8].

Особенно чувствительны к недостатку кремния в организме клапаны, сфинктеры желудочно-кишечного тракта, обратные клапаны на стенках вен, сердечнососудистая система. Практически все болезни ногтей, волос и кожи человека возникают при дефиците кремния.

Согласно выводам некоторых биохимиков кремний используется в организме человека восьмикратно, участвуя в различных реакциях как катализатор, источник энергии, обеспечивая жизнь. После восьмикратного использования кремний выводится из организма. Если в организме человека содержание кремния не пополняется за счет пищи и воды, то наступает дефицит кремния, приводящий к болезненному состоянию. Проявления этого процесса будут самые разные — это симптомы таких широко известных болезней, как: атеросклероз, туберкулез, полиартрит, остеомалация, диабет, микроэлементозы, остеомалации (размягчения костей) заболеваний глаз, зубов, ногтей, кожи и волос, ускоренная изношенность суставных хрящей, образование камней в печени и почках и др. [1, 2, 8, 9].

По данным спектрального анализа: в ежедневных продуктах, выделенных здоровым организмом человека, содержание кремния — 4,7 %. В организме человека кремний восьмикратно участвует в процессах жизнеобеспечения. Следовательно, скрытый процент участия кремния в процессах жизнеобеспечения $4,7 \times 8 = 38$ %. Т. е. около 38 % нашего здоровья зиждется на кремнии (по данным М. Г. Воронкова). При недостатке кремния в организме человека нарушается баланс обмена веществ, т. к. более 70 других элементов просто не усваиваются [8, 9]. Наиболее удобным источником кремния в организме человека считается кремниевая вода. Кремниевая вода – вода, настоянная на природном кремне.

В табл. 1 приведены данные исследований водопроводной воды [17].

Таблица 1

Данные исследования наставания водопроводной воды на кремнии

№ примера	Продолжительность наставания, сут.	pH	Концентрация SiO ₂ , мг/дм ³	D
1	0 исходная вода	7,4	2,4	0,20
2	2	7,4 5	3,6	0,15
3	3	7,6	4,0	0,10
4	5	7,7	4,3	0,12
5	7	7,8	4,2	0,06
6	10	7,8	4,5	0,05

Концентрация SiO₂ в исходной водопроводной воде составляет 2,4 мг/дм³, что является недостаточным для восполнения кремния в организме человека.

В статье [17] предложено два варианта улучшения отделения подготовки питьевой воды улучшенного качества.

В варианте I предлагается использование фильтров с загрузкой активированным углем и природным кремнием фракцией до 5,0 мм.

Обрабатываемая вода под напором поступает последовательно в фильтр с активированным углем, а затем в фильтр фильтрующим материалом которого является кремниевая крошка, проходя слой загрузки сверху вниз. При этом происходит:

- удаление остаточного хлора, органических соединений и продуктов их окисления, посторонних привкусов и запахов путем фильтрования воды через активированный уголь;
- улучшение вкусового восприятия воды и насыщение кремнием путем фильтрования через загрузку из природного кремния.

Были проведены исследования модели предлагаемого фильтра. Для фильтра использовался минерал Краматорского мелового карьера. Измельченный минерал фракцией 0,5-5,0 мм загружали в колонку Ø 20 мм с высотой слоя загрузки 250 мм, через которую пропускали воду со скоростью 0,1÷1,0 м/час. Фильтрацию осуществляли в условиях естественного освещения. Для оценки степени активации воды определяли следующие показатели: PH, концентрации растворенной кремниевой кислоты в перерасчете на SiO₂ и оптическую плотность – D. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты исследования фильтра с загрузкой природным кремнием

№п/п	Условия фильтрации воды			Показатели качества воды		
	Скорость подачи воды, м/час	Размер частиц, мм	Время контакта, час	PH	D	SiO ₂ , мг\дм ³
1	Исходная вода			7,4	0,20	3,4
2	0.1	0,5÷3,0	2.5	7,4	0,15	3,8
3	0.5	0,5÷3,0	0.5	7,8	0,06	4,2
4	1,0	0,5÷3,0	0,25	7,65	0,10	4,0
5	0,05	0,5÷3,0	5,0	7,5	0,19	3,6
6	1,2	0,5÷3,0	12,5 мин	7,4	0,20	3,4
7	0,5	0,2÷0,5	0,5	8,4	0,35	5,4
8	0,5	3,0÷5,0	0,5	7,4	0,20	3,4

Выявлено, что использование фракции минерала 0,2÷0,5 мм и фильтрование воды со скоростью в диапазоне 0.1÷1,0 м/час обеспечивает условия эффективной активации (фильтрации) воды по показателям PH, оптической плотности D, концентрации кремния таблица 4 пример 2 - 4.

По варианту II для улучшения вкусовых качеств и насыщения питьевой воды необходимыми для организма человека минералами предлагается использование устройства изображенного на рис. 2. (Патент №179 020 [8]).

Обогащение воды кремнием осуществляется в устройстве, состоящем из реактора 1 цилиндрической формы изготовленного из биологически инертного материала (допускается использование пищевой нержавеющей стали) с датчиками уровней воды 7 и 8. Над реактором 1 установлен привод 2, вращающий центральный

вертикальный вал 3 с лопастями расположенными в двух уровнях.

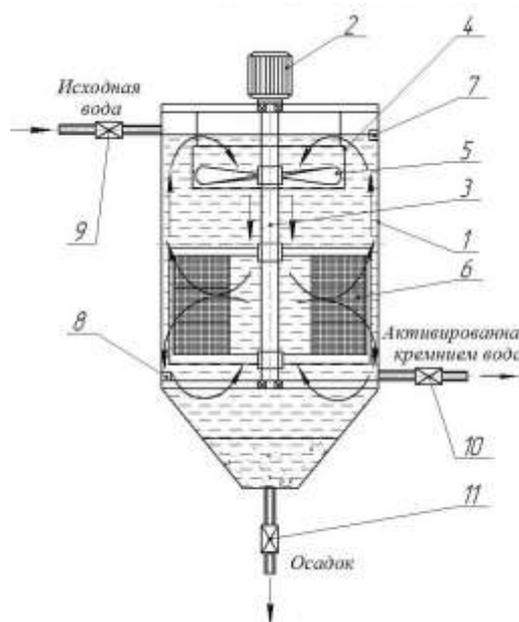


Рис. 2. Устройство для приготовления воды улучшенного качества:

- 1 – реактор; 2 – привод; 3 – вертикальный вал;
- 4 – диффузор; 5 - лопасти осевого нагнетателя; 6 – ротор;
- 7 и 8 – датчики уровней воды; 9, 10 и 11 – задвижки

Течение жидкости в слое минерала происходит в межчастичном пространстве, каналах слоя, довольно сложной конфигурации омывая тем самым все грани поверхности зерен минерала. В результате интенсивной циркуляции всей массы воды, вследствие гидромеханической обработки исходного объема воды путем многократной циркуляции через его механический вращающийся рабочий орган происходит интенсивное насыщение кремнием. Процесс активации длится около 3 часов.

Более подробное описание устройства представлено в статье [17].

Выводы. В процессе исследования возможности использования шахтных вод в качестве альтернативных источников водоснабжения населения авторы пришли к выводу:

- применение природного кремния в качестве фильтрующего материала позволяет использовать активированную воду с содержанием кремния, обеспечивающим биологическую потребность человека;
- природный кремний улучшает вкусовые качества питьевой воды. Кремниевая вода сочетает в себе вкус и свежесть родниковой воды из кремниевых пород, чистоту и структуру талой воды, бактерицидные свойства серебряной;
- устройство для приготовления воды улучшенного качества позволяет получать воду обогащенную кремнием и другими

микроэлементами контролируемого качества в необходимых объемах.

Механизм взаимодействия кремния с водой не выяснен окончательно. Предполагается, что целительное действие кремния объясняется способностью его образовывать с водой особые ассоциаты – коллоиды, поглощающие из среды грязь и постороннюю микрофлору.

Подмечено, что кремний способен передавать в воду гомеопатические дозы соединений двуокиси кремния с водой и тем самым создавать условия, необходимые для восстановления здоровых, жизнеобеспечивающих процессов. Поэтому дальнейшие исследования должны выявить причины и сам механизм воздействия на живой организм.

Перспективными направлениями исследований на настоящем этапе являются: исследования в области медицины, сельском хозяйстве и пищевой промышленности.

Л и т е р а т у р а

1. Биндемман Н.Н., Язвин Л.С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод (методическое руководство) / Н.Н. Биндемман, Л.С. Язвин. – Недра, Москва, 1970 г., 216 стр

2. Ветштейн В., Сухин В. Феномен кремния и здоровья человека / В Ветштейн., В. Сухин : <http://nashprav.by.ru/Internet3.html>.

3. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ САНИТАРНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА

"Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для потребления человеком" (ГСанПиН 2.2.4-171-10) Приказ Министерства здравоохранения Украины 12.05.2010 N 400.

4. ГОСТ 2874-82. ВОДА ПИТЬЕВАЯ. Гигиенические требования и контроль за качеством. ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. Москва.

5. Прокопов В.О. Гігієнічні проблеми водопостачання в Україні / В.О. Прокопов // Досвід та перспективи наукового супроводу проблем гігієнічної науки та практики. – Київ. – 2011. – С. 106-132.

6. Отчет «О работе проведения научно-исследовательской и проектно-конструкторской разработки по очистке вод шахты им. Войкова с целью использования их для питьевых целей». – ОАО «УкрНТЭК». – г. Донецк, 2002. 137 с.

7. Використання шахтних вод господарського-питного водопостачання. Стандарт мінпалівернерго України СОУ10.1. 00174125.005-2004, Видання офіційне, Мінпалівернерго України, Київ, 2005.

8. Патент на полезную модель: (19) RU (11) 179 020(13) U1, СПК C02F 1/68 (2006.01); C01B 33/12 (2006.01); B01F 7/04 (2006.01); B01F 7/18 (2006.01) Устройство для обогащения воды кремнием / Соколовский А.Я., Нечаев Г.И., Соколовская Е.А.; Патентообладатель(и): Соколовский А. Я., Заявка: 2017109000, 17.03.2017, опубликовано: 25.04.2018 Бюл. № 12

9. Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Луковец Э.Я. Кремний и жизнь / М.Г. Воронков, Г.И. Зелчан, Э.Я. Луковец // изд. «Зинатне», Рига, 1977. – 588 с.

10. Воронков М.Г., Кузнецов И.Г. Удивительный элемент жизни / М.Г. Воронков, И.Г. Кузнецов // Вост – Сиб. изд., Иркутск, 1983. – 108 с.

11. Гадиятов В.Г. Кремний из меловых отложений Воронежской ан-теклизы. – Новые идеи в науках о Земле: докл. 10-й междунар. конф. / В.Г. Гадиятов. – М., 2011. – Т. 1. – С. 150.

12. Гадиятов В.Г. О.Б. Кукина, О.В. Сибирских /Кремень – минерал для обогащения питьевой воды кремнием/ Малышевские чтения: Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием. / Старо-оскольский филиал ФГБОУ ВПО МГРИ-РГГРУ, 616 стр. – Старый Оскол, издательство РОСА, 2015.

13. Коршикова И.А. Состояние водных ресурсов Донецкой области и их диагностика // Економічний вісник Донбасу.– 2011. – № 1 (23). – С. 27-30.

14. Лебедев А.В. Оценка баланса подземных вод /А.В. Лебедев/. – М.: Недра, 1989. – 174 с.

15. Мосин О.В., Игнатов И. Осознание воды как субстанции жизни / О.В. Мосин, И. Игнатов/ Сознание и физическая реальность. - М.: Изд. Фоллиум, 2011. Т. 16. № 12. С. 9-21.

16. Мосин О.В. "Кремниевая вода" Главный испытательный центр питьевой воды <http://www.dwater.ru/>

17. Нечаев Г.И., Соколовский А.Я., Соколовская Е.А. Улучшение качества очищенных шахтных вод путем обогащения их микроэлементами / Г.И. Нечаев, А.Я. Соколовский, Е.А. Соколовская // Вестник ЛНУ им. Владимира Даля – 2018 – №3 [9] – С. 120-127.

18. Нечаев Г.И., Соколовский А.Я., Слободянок М.Э. Логистическая граф-модель цепи поставок хозяйственного и питьевого водоснабжения из источников заброшенных шахт / Г.И. Нечаев, А.Я. Соколовский, Е.А. Соколовская // Вестник ЛНУ им. Владимира Даля – 2018 – №3 [9] – С. 112-119.

19. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации:-М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.-36 с.

20. Всесоюзный симпозиум "Биологически активные соединения элементов IV Б группы", Тез. докл. — Иркутск. — 1975. — 67 с.

21. Второй всесоюзный симпозиум "Биологически активные соединения элементов IV Б группы", тез. докл. — Иркутск. — 1977. — 306 с.

22. Adell R., Hekholm V., Roclerand B., Branemark P.I. A 15-year study ofosseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. — Copenhagen, 1981.

23. Cheang, K.A. Khor. Bioceramic Powders and coatings by Thermal Spray Techniques // Proceedings of ITSC, Kobe. — 1995. — P. 181-186.

References

1. Bindemann N.N., Yazvin L.S. Assessment of operational groundwater resources (methodical guidance)/ NN. Bindeman, L.S. Yazvin / – Nedra, Moscow, 1970, 216 pages.

2. Vetshtein V., Sukhin V. Phenomenon of silicon and human health / V. Wetstein., V. Sukhin: <http://nashprav.by.ru/Internet3.html>.

3. STATE SANITARY NORMS AND RULES "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption" (GASPIN 2.2.4-171-10) Order of the Ministry of Health of Ukraine 12.05.2010 N 400.

4. GOST 2874-82 WATER DRINKING Hygienic requirements and quality control PUBLISHING STANDARDS Moscow.

5. Prokopov V.O. Hygienic problems of water supply in Ukraine / V.O. Prokopov// Experience and perspectives of scientific support of hygienic science and practical problems. – Kiev – 2011. – P. 106-132.

6. The report "On the work of carrying out research and design development on the cleaning of the mine. Voikova for the purpose of using them for drinking purposes. " – OJSC "UkrNTEK" . – Donetsk, 2002. 137 p.

7. The use of mine water for household drinking water supply. Standard Mineralogenergo Ukraine COV10.1. 00174125.005-2004, Official publication, Ministry of Fuel and Energy of Ukraine, Kiev, 2005.

8. Patent for a utility model: (19) RU (11) 179 020 (13) U1, SEC C02F 1/68 (2006.01); C01B 33/12 (2006.01); B01F 7/04 (2006.01); B01F 7/18 (2006.01) A device for enriching water with silicon / A.Ya. Sokolovsky, G.I. Nechaev, E.A. Patentee (s): Sokolovsky A. Ya., Application: 2017109000, 03/17/2017, published: 04/25/2018 Bull. № 12

9. Voronkov M.G., Zelchan G.I., Lukovets E.Ya. Silicon and Life / M.G. Vo-ronkov, G.I. Zelchan, E.Ya. Lukovets // ed. "Zinatne", Riga, 1977.- 588 p.

10. Voronkov M.G., Kuznetsov IG The Amazing Element of Life / MG. Voronkov, I.G. Kuznetsov // Vost - Sib. Izd., Irkutsk, 1983. -108 s.

11. Gadiyatov V.G. Kremni from the Cretaceous deposits of the Voronezh ante-textile. - New ideas in the sciences of the Earth: Dokl. The 10th Intern. Conf. / V.G. Gadiyatov. - M., 2011. - T. 1. - P. 150.

12. Gadiyatov V.G. ABOUT. Kukina, O.V. Siberian / Kremen - mineral for the enrichment of drinking water with silicon / Malyshev Readings: Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference with international participation. / Starooskolsky branch of FGBOU VPO MGRI-RGGRU, 616 pages - Stary Oskol, ROSA publishing house, 2015.

13. Korshikova I.A. State of water resources of the Donetsk region and their diagnostics // Economical newsletter Donbas.-2011. – № 1 (23). – С. 27-30.

14. Lebedev A.V. Assessment of groundwater balance /A.V. Lebedev. – Moscow: Nedra, 1989. – 174 p.

15. Mosin OV, Ignatov I. Awareness of Water as Substance of Life // Con-sciousness and Physical Reality. - Moscow: Izd. Folium, 2011. T. 16. No. 12. P. 9-21.

16. . Mosin O.V. "Silicon Water" The main testing center of drinking water <http://www.dwater.ru/>

17. Nechaev G.I., Sokolovsky A.Ya., Sokolovskaya E.A. Improving the quality of treated mine water by enriching them with microelements / G.I. Nechaev, A.Ya. Sokolovsky, E.A. Sokolovskaya // Bulletin of LNU. Vladimir Dahl - 2018 - №3 [9] - С. 120-127.

18. Nechaev G.I., Sokolovsky A.Ya., Slobodyanyuk M.E. Logistic graph-model of the supply chain of domestic and drinking water supply from sources of abandoned mines / GI Nechaev, A.Ya. Sokolovsky, E.A. Sokolovskaya // Bulletin of LNU. Vladimir Dahl - 2018 - №3 [9] - С. 112-119.

19. Norms of physiological needs in energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Methodical recommendations: -M.: Fed-eral Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009.-36 s.

20. All-Union Symposium "Biologically active compounds of elements of Group IV B", Tez. doc. - Irkutsk. - 1975. - 67 p.

21. Second All-Union Symposium "Biologically active compounds of group IV B elements", Tez. doc. - Irkutsk. - 1977. - 306 p.

22. Adell R., Hekholm V., Roclerand B., Branemark P.I. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. — Copenhagen, 1981.

23. Cheang, K.A. Khor. Bioceramic Powders and coatings by Thermal Spray Techniques // Proceedings of ITSC, Kobe. — 1995. — P. 181-186.

Nechayev G.I., Sokolovsky A.Y., Sokolovskaya E.A. TRANSPORT SYSTEM OF MINE WATER TREATMENT

The study presents the possible use of mine water as an alternative source for domestic purposes.

The technology of preparation of improved quality drinking water by enriching with microelements is presented.

Identified alternative areas of use of activated water, not only for household purposes, but also in other spheres of human activity (medicine, agriculture, food industry).

Key words: mine water, drinking, silicon-activated water, silicon, water treatment.

Нечаев Григорий Иванович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Nechayev Grigoriy, Dr. Sci. (Eng.), professor, Head of the «Transport systems» Department of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Соколовский Александр Ярославович, старший преподаватель кафедры «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: afalcovsky@mail.ru

Sokolovsky Alexander, Senior Lecturer of the Department "Transport Systems", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: afalcovsky@mail.ru

Соколовская Елена Александровна, заведующая лабораторией кафедры «Туризм и гостиничное хозяйство», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: sokolik_lena@mail.ru

Sokolovskaya Elena, Head of the Laboratory of the Department of Tourism and Hospitality, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры транспортные системы, ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 31.03.2019

УДК 629.45

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ РАМ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Рябичев В.Д., Губачева Л.А., Андреев А.А.

INCREASE OF THE FATIGUE ENDURANCE OF THE FREIGHT WAGONS BOGIE FRAMES

Ryabichev V.D., Gubacheva L.A., Andreev A.A.

Рассмотрены вопросы влияния геометрии боковой рамы тележки типа 18-100 на усталостную выносливость и предложено мероприятие по повышению прочности ходовых частей грузового вагона.

Ключевые слова: рама, тележка, вагон, расчетные факторы, эпюры сил, эпюры напряжений, концентраторы напряжений, усталостная выносливость.

Постановка проблемы. Грузовые перевозки на территории стран СНГ и Балтии в последние годы выполняются подвижным составом с двухосными трехэлементными тележками типа 18-100 (ЦННИ-ХЗ-0), разработанными более 40 лет назад. Как отмечалось в выводах по результатам исследования грузовых вагонов, проведенным ВНИИЖТ в 1968 году, «повышение надежности и долговечности подшипников букс путем снижения действующих на них нагрузок и лучшего распределения сил между элементами подшипников достигается применением резиновых прокладок в узлах сочленения колесной пары с рамой тележки» [1].

Одним из способов повышения усталостной прочности боковых рам тележек грузовых вагонов представляется путь снижения количества концентраторов напряжений и уменьшения влияния концентрации в местах резкого перехода элементов литой конструкции [2].

Изменение уровня качественного состояния рельсового пути и стрелочных переводов, технического обслуживания и условий эксплуатации вагонов в последнее время все чаще приводит к появлению усталостных трещин рам тележек грузовых вагонов, их изломов и разрушений, сходом с рельсов и крушениям поездов. На рис. 1 представлен внешний вид разрушения литой боковой рамы двухосной тележки грузового вагона.

Прохождение вагоном стыковых соединений рельсов и крестовин стрелочных переводов сопровождается появлением настолько больших сил, передаваемых от букс, что наблюдается

пластическая деформация нижней опорной поверхности литой боковой рамы и даже уменьшение ее толщины на 4-7 мм и более.



Рис. 1. Изломы боковых литых рам тележек типа 18-100 эксплуатирующихся грузовых вагонов

В целом перечисленные факторы свидетельствуют об актуальности проблемы повышения прочности и усталостной выносливости тележек грузовых вагонов.

Методы решения. В соответствии с современными требованиями конструкция двухосной тележки типа 18-578 (ОАО «НПК УРАЛВАГОНЗАВОД») и Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) была спроектирована с учетом повышения межремонтных пробегов грузовых вагонов до 500 тыс. км и увеличения гарантийного срока эксплуатации до 4 лет при одновременном увеличении осевой нагрузки до 23-25 т [3].

Одним из путей решения проблемы повышения усталостной выносливости является обоснованное изменение геометрии поперечного сечения литой рамы на основе учета новых факторов, а также

использования упругих элементов между боковой рамой и буксами колес [4].

Как отмечено в источнике [1]: «расчет литой боковой рамы тележки должен выполняться точными методами, так как недостаточная прочность боковой рамы создает угрозу безопасности движения поездов, а излишняя – увеличит массу этой обычно неподрессоренной части вагона». Известная методика расчета литой боковой рамы тележки сводится к расчету стержневой системы, находящейся под действием вертикальной статической силы $P_{ст}$ и динамической силы $P_{д}$, а также боковой силы $P_{б}$. В то же время «при расчете основных элементов рам тележек тормозные нагрузки обычно не учитывали».

Практика эксплуатации вагонов свидетельствует о появлении трещин в месте сопряжения наружной челюсти с боковой рамой под действием силы нажатия тормозной колодки на бандаж колеса при повторяющихся ударных нагрузках во время движения по стыковым соединениям рельсов и крестовинам стрелочных переводов, что не рассматривалось в приведенных источниках в качестве одной из причин, приводящих к разрушению боковых рам тележек грузовых вагонов при движении.

Отличительной особенностью крестовин стрелочных переводов является то, что расчетная масса, условно присоединяемая к колесу, превышает условно присоединяемую массу рельса пути в 5-10 раз, а условная приведенная жесткость контакта колеса с крестовиной больше аналогичной жесткости рельса в пути более чем в 2 раза. При этом сила удара колеса об элементы крестовины в 3-5 раз выше, чем рельсов в пути.

На рис. 2 представлена геометрическая схема прохождения колеса вагона по крестовине стрелочного перевода. Динамическую модель прохождения колесом крестовины следует рассматривать с учетом того, что средний износ (прокат) поверхности катания колес имеет разную величину, а усовик и сердечник крестовины стрелочного перевода тоже изнашиваются. Оптимальное возвышение усовика относительно сердечника будет такое, при котором основная масса колеса со средним или близким к нему износом (прокатом) перекатывается с усовика на сердечник без нажима на слабое узкое острие сердечника и узкую кромку усовика. В соответствии с этим при конструировании стрелочных переводов принято возвышение усовика над уровнем катания на 5,7 мм, а понижение начала сердечника – на 4 мм, что соответствует положению поверхности колеса по кругу катания с подуклонкой 1:20 одновременно на двух рельсах – отдающем и принимающем. Если поверхности катания приобретают в результате износа цилиндрическую форму с желобом, то при проходе колеса через сердечник и усовик получают резкие толчки и удары с большой силой и даже подсакивание колеса и пролет по воздуху с

дальнейшим падением на сердечник крестовины при ударном взаимодействии верхней части буксы с опорной поверхностью боковой рамы.

Как известно, переменные напряжения, появляющиеся в деталях от изменения нагрузки, приводят к внезапному разрушению, хотя величина этих напряжений часто существенно ниже предела текучести материала. Усталостное разрушение начинается с накопления повреждений на границах зерен материала и образования на поверхности в месте концентрации напряжений микротрещины, развития трещины и ослабления сечения.

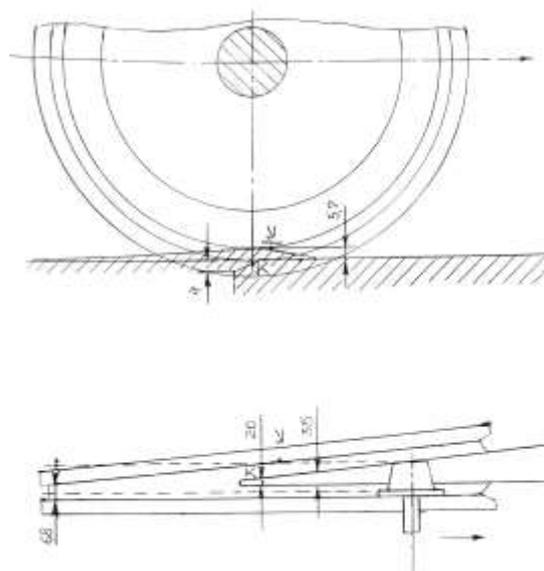


Рис. 2. Геометрическая схема прохождения колеса вагона по крестовине стрелочного перевода

Трещина обычно распространяется в направлении, перпендикулярном линии действия наибольших нормальных напряжений. Когда прочность оставшейся неповрежденной части становится недостаточной, происходит внезапное разрушение детали [4].

На рис. 3 представлена расчетная схема рассматриваемой части боковой рамы тележки при прохождении крестовины стрелочного перевода и представлены следующие действующие силы:

$\bar{Q}_{ст}$ - статическая нагрузка, прикладываемая от буксы к боковой раме в точке D снизу -вверх;

\bar{K} - сила нажатия колодки на бандаж колеса и затем передаваемая через буксу на наружную челюсть в точке C;

\bar{B}_T - тормозная сила, передаваемая от контакта бандажа с рельсом через колесо и буксу на наружную челюсть в точке C;

\bar{F}_K - сила трения тормозной колодки о бандаж, передаваемая частично на боковую раму в точке D₁ и челюсть в точке C;

\bar{Q}_{DZ} - переменная динамическая сила, возникающая при прохождении стыкового

соединения рельсов и передаваемая в точке D_1 от буксы на боковую раму снизу вверх;

\bar{Q}_{DX} - переменная динамическая сила, возникающая при прохождении стыкового соединения рельсов и передаваемая в точке С от буксы на наружную челюсть.

Искомыми реакциями, в конечном итоге и определяющими напряжения материала боковой рамы тележки в критическом по излому сечении ЕА, являются:

\bar{Z}_A - вертикальная составляющая реакции;

\bar{X}_A - горизонтальная составляющая реакции;

M_A - реактивный изгибающий момент в условной жесткой заделке.

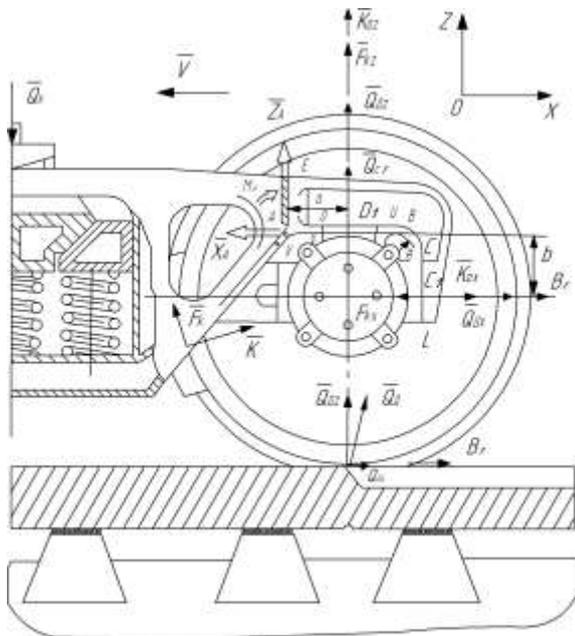


Рис. 3. Расчетная схема боковой литой рамы двухосной тележки грузового вагона под действием сил при движении по крестовине стрелочного перевода

В общем случае статическая нагрузка на колесо может быть принятой равной от 2,88 т (для порожнего вагона) до 11,5 т (для груженого вагона).

Сила удара колеса о рельсовый стык зависит от неподдресоренной массы вагона m_n ; приведенной массы рельсового пути m_p ; контактной вертикальной жесткости c_k колеса и рельсового пути; а также скорости удара $V_{уд}$ колеса о сердечник принимающего рельса и может быть приближенно определена по методике и формулам, представленным в источнике [6]:

$$V_{уд} \approx V \cdot \frac{l_{II}}{r},$$

где V - скорость движения колеса;

l_{II} - приведенный зазор в крестовине;

r - радиус колеса по кругу катания.

Максимальное значение силы удара (она же динамическая нагрузка) равна при $m_n \gg m_p$:

$$P_{Kmax} \approx V_{уд} \sqrt{c_k \frac{m_n \cdot m_p}{m_n + m_p}}.$$

Оценим величины вертикальных ударов в крестовине для пути с рельсами Р50 и деревянными шпалами:

$c_k = 40$ МН/м;

$m_n = 1500$ кг;

$m_p = l_{II} \cdot m_{po} + n_{ш} \cdot m_{ш} = 1,5 \cdot 100 + 4 \cdot 72 = 438$ кг;

$$P_{Kmax o} = V_{уд} \sqrt{40 \frac{1500 \cdot 438}{1500 + 438}} = 116 \cdot V_{уд}, \text{ кН}.$$

Аналогично оценим величины вертикальных ударов в крестовине пути с рельсами Р75 на железобетонных шпалах:

$c_k = 80$ МН/м;

$m_n = 1500$ кг;

$m_p^* = l_{II} \cdot m_{po} + n_{ш} \cdot m_{ш} = 2 \cdot 150 + 4 \cdot 250 = 1300$ кг;

$$P_{Kmax II} = V_{уд} \sqrt{80 \frac{1500 \cdot 1300}{1500 + 1300}} = 239 \cdot V_{уд}, \text{ кН}.$$

При прочих равных условиях эксплуатации силы ударов колес по крестовинам стрелочных переводов после перехода на более прогрессивное верхнее строение пути с железобетонными шпалами возрастает в два раза и более по сравнению с деревянными шпалами.

В качестве определяющего рассмотрим режим торможения грузового вагона с колесами диаметром 950 мм при движении по крестовине стрелочного перевода с приведенным зазором в крестовине 45 мм на скорости $V=25$ м/с, когда расчетная сила динамического удара достигает величины

$$P_{max} = 25 \cdot 0,045 \cdot 239 / 0,475 = 565, \text{ кН}.$$

В дальнейшем принимаем динамическую нагрузку на уровне $Q_d \approx 500$ кН ≈ 50 тс. Согласно режимам торможения сила нажатия тормозной колодки может быть принята равной $K=3,5$ тс, а сила торможения, приложенная к поверхности катания колеса на уровне головки рельса и в точке прижатия тормозной колодки к колесу, принимается равной $B_T = 0,35 \text{ тс} = F_k$. С учетом углов наклона оси тормозная колодка – центр колеса и принятой системы осей координат проекции расчетных составляющих сил могут быть определены по формулам:

$$Q_{ox} = 1,75 \text{ тс}; Q_{oz} = 49,5 \text{ тс};$$

$$K_{ox} \approx K \cdot \cos \alpha = 0,985 \cdot K;$$

$$K_{oz} \approx K \cdot \sin \alpha = 0,173 \cdot K;$$

$$F_{kx} \approx F_k \cdot \sin \alpha \approx 0,173 \cdot F_k;$$

$$F_{kz} \approx F_k \cdot \cos \alpha \approx 0,985 \cdot F_k.$$

Для оценки напряженного состояния литой боковой рамы двухосной тележки грузового вагона принятой модели прохождения крестовины стрелочных переводов в первом приближении применим принцип Германа-Эйлера-Даламбера для механической системы с идеальными связями рассмотрим равновесие консольной части буксового проема боковой рамы под действием приложенных статических сил Q_{cm}, K, F_k, B_m , динамических сил Q_d и реакций связей X_A, Z_A, M_A в эквивалентной жесткой заделке по методикам теоретической механики [6].

Составим уравнения равновесия рамы проема задней челюсти боковой рамы двухосной тележки типа 18-100 грузового вагона под действием указанных сил по принятым условиям в осях координат хоз:

$$\begin{cases} \sum F_{kx} = 0; \\ \sum F_{ky} = 0; \\ \sum M_A(\overline{F_k}) = 0. \end{cases} \begin{cases} -X_A + K_{ox} + B_T + Q_{dx} - F_{kx} = 0; \\ Z_A + K_{oz} + F_{kz} + Q_{dz} + Q_{ct} = 0; \\ -M_A + a(K_{oz} + F_{kz} + Q_{dz} + Q_{ct}) + b(K_{ox} + B_T + Q_{dx} - F_{kx}) = 0. \end{cases}$$

Из системы трех независимых уравнений с тремя неизвестными находим расчетные формулы для величин:

- продольную реакцию X_A в критическом по излому сечении EA рамы:

$$X_A = K_{ox} + B_T + Q_{dx} - F_{kx};$$

-вертикальную реакцию Z_A :

$$Z_A = -K_{oz} - F_{kz} - Q_{dz} - Q_{ct}; \quad (9)$$

- реактивный момент M_A :

$$M_A = a(K_{oz} + F_{kz} + Q_{dz} + Q_{ct}) + b(K_{ox} + B_T + Q_{dx} - F_{kx})$$

Расчетные величины реакций в критическом по излому сечении EA сопряжения рамы буксового проема задней челюсти с боковой литой рамой двухосной тележки грузового вагона в принятых условиях окажутся равными:

$$\begin{aligned} x_A &= 0,985 \cdot K_{ox} + B_T + Q_{dx} - 0,173 \cdot Fk = \\ &= 0,985 \cdot 3,5 + 0,35 + 1,75 - 0,173 \cdot 0,35 = 5,49 \text{ Тс}; \\ Z_A &= -0,173 \cdot K_{oz} - 0,985 \cdot F_{kz} - Q_{dz} - Q_{ct} = \\ &= -0,173 \cdot 3,5 - 0,985 \cdot 0,35 - 10,0 - 49,5 = -63,55 \text{ Тс}; \\ M_A &= 0,14(0,173 \cdot K_{oz} + 0,985 \cdot F_k + Q_{dz} + Q_{ct}) + \\ &+ 0,17(0,985 \cdot K_{ox} + B_T + Q_{dx} - 0,173 \cdot F_k) = \\ &= 0,14 \cdot (0,173 \cdot 3,5 + 0,985 \cdot 0,35 + 9,9 + 49,5) + \\ &+ 0,17 \cdot (0,985 \cdot 3,5 + 1,75 - 0,173 \cdot 0,35) = 9,334 \text{ Тм} \end{aligned}$$

Вторым шагом расчета напряженного состояния боковой литой рамы в зоне сопряжения с рамой буксового проема задней челюсти является расчет и построение эпюр перерезывающих сил Q и изгибающего момента M для расчетной схемы в

виде изогнутого стержня рамы с использованием методик сопротивления материалов [6].

Сосредоточенные силы целесообразно заменить равномерно распределенными нагрузками q_1 и q_2 по расчетным формулам:

$$q_1 = (Q_{ct} + Q_{dz} + F_{kz}) / DU = 293, \text{ Тс/м};$$

$$q_2 = (K + B_{dx} - F_{kx}) / CL = 32,1 \text{ Тс/м}.$$

На рис.4а представлена расчетная схема изогнутой рамы, эквивалентной сопряжению челюстной рамы с центральной частью литой боковой рамы двухосной тележки грузового вагона, а также расчетные эпюры распределения нормальных нагрузок, перерезывающих сил и изгибающих моментов на этой изогнутой раме.

Условно принято: равномерно распределенная нагрузка от вертикальных сил передается верхней частью буксы на опорную планку буксового проема литой рамы между точками D и U; равномерно распределенная нагрузка от продольных сил нажатия тормозной колодки на колесо, динамической силы удара в крестовине стрелочного перевода и тормозной силы передается на заднюю по ходу движения вагона челюсть между точками C и L. Также в качестве определяющих на расчетных схемах эпюр нагрузок на условном изогнутом стержне указаны дополнительно точка В – место появления трещин в месте непосредственного примыкания челюсти к консоли челюстного проема; точка D₁ приложения сосредоточенной равнодействующей вертикальной силы к боковой раме в челюстном проеме; точка C₁ приложения равнодействующей, от сосредоточенной горизонтальной силы к буксовой челюсти рамы тележки, а также точки А в месте непосредственного присоединения челюстного проема к центральной части литой боковой рамы тележки, где наиболее часто наблюдается появление и развитие трещин вплоть до разрушения боковой рамы.

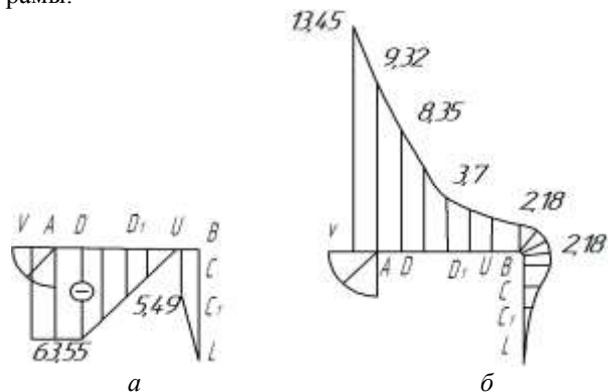


Рис. 4. Эпюры перерезывающих нагрузок и изгибающих моментов, приложенных к боковой раме тележки: а - Эп "Q", Тс; б-Эп "M", Тм

Анализ эпюры перерезывающих сил рис.4а показывает, что если в точке В непосредственного присоединения челюсти к боковой раме перерезывающая сила равна 5,49 Тс, то в критическом по излому сечении ЕА и до точки V она достигает значения 63,55 Тс.

На рис. 4б представлена эпюра изгибающих заднюю челюсть и часть литой боковой рамы моментов сил. Анализ показывает, что если от точки L до точки C₁ изгибающий момент увеличивается от 0 до 0,713 Тс·м, то на участке C₁В он увеличивается от 0,713 Тс·м до 2,18 тс·м, а затем достигает значения 9,32 Тс·м в критической по излому точке А и наибольшего значения 13,45 Тс·м – в точке V.

Третьим шагом расчета боковой рамы тележки грузового вагона является определение геометрических характеристик поперечных сечений в расчетных точках для тележки типа 18-100. На рис.5а представлен расчетный поперечный вид критического по излому сечения ЕА боковой с характеристиками: высота коробчатого сечения H=180 мм; ширина коробчатого сечения B=150 мм; толщина стенок и стоек коробчатого сечения t=16 мм, причем нижняя полка в штатном варианте тележки типа 18-100 с целью упрочнения имеет выступ за пределы боковых стоек и сопряжена с ними по радиусу r=5мм.

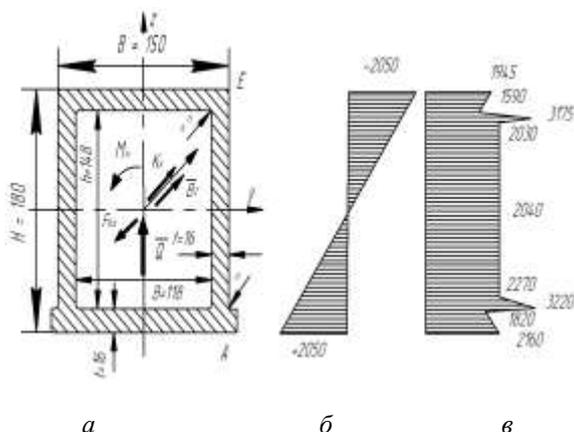


Рис. 5. Расчетная схема поперечного критического по излому сечения боковой рамы тележки типа 18-100:

- а – критическое сечение рамы тележки 18-100;
б - Эп "σ_n" кгс/см², в - Эп "σ_τ" кгс/см²

Площадь критического поперечного сечения ЕА приближенно определяется по формуле:

$$F_{AE} = B \cdot H - b \cdot h \approx 95 \text{ см}^2.$$

Расчетный момент инерции критического поперечного сечения ЕА относительно центральной поперечной оси у определяется по формуле:

$$I_y = \frac{1}{12} (B \cdot H^3 - b \cdot h^3) \approx 4110 \text{ см}^4.$$

Расчетный момент сопротивления изгибу критического поперечного сечения ЕА определяется по формуле:

$$W_y = \frac{2I_y}{H} = 455 \text{ см}^3.$$

Нормальное напряжение растяжения в нижних слоях критического поперечного сечения ЕА от действия изгибающего момента определяется по формуле:

$$\sigma_n \approx \frac{M_n}{W_y} = 2050 \text{ кгс/см}^2;$$

Нормальное напряжение растяжения от растягивающей силы по всему сечению определяется по формуле:

$$\sigma^o \approx \frac{N}{F_{AE}} = 57,5 \text{ кгс/см}^2;$$

На рис.5б представлена эпюра нормальных напряжений от изгибающего момента в различных точках критического по излому рамы сечения ЕА. Анализ показывает, что значения нормальных напряжений изменяются от 2050 кгс/см² - растяжения нижних волокон, до -2050 кгс/см² - сжатия верхних волокон материала литой рамы тележки.

Согласно известным в вагоностроении расчетам рам тележек напряжения от горизонтальных нагрузок суммируются не только с напряжениями от вертикальных нагрузок, но и должны учитываться касательные напряжения от перерезывающих сил, обычно определяемые по формулам Журавского

$$\tau' = \tau = \frac{Q \cdot S'_y(Z)}{b(Z) \cdot I_y},$$

где $S'_y(Z)$ - статический момент относительно нейтральной линии той части площади $F(Z)$, которая расположена ниже или выше рассматриваемого слоя сечения на расстоянии Z от нейтрального слоя сечения;

$b(Z)$ - ширина материала в рассматриваемом слое сечения;

I_y - момент инерции сечения рамы относительно нейтральной оси;

Q - величина перерезывающей силы.

Для ускорения расчетов касательных напряжений представляется целесообразным оценивать их с помощью коэффициента эквивалентности касательных напряжений от перерезывающих сил:

$$K_{\tau} = \frac{S_{yomc}}{I_y \cdot b_i^*},$$

где $S_{yomc} = B_i \cdot t_i \cdot h_i$ - статический момент условно отсеченной части поперечного сечения относительно нейтральной оси;

$b_i^* = b_A = B$ - ширина нижней полки до места соединения со стойками поперечного сечения рамы;

$b_i^* = b_A^* = 2t$ - ширина двух стоек после места соединения с нижней полкой;

I_y - момент инерции рассматриваемого сечения ЕА относительно центра оси у.

Так, для нижней кромки соединения полки в положении А статический момент равен:

$$S_{yomc} = B \cdot t \cdot \left(\frac{H}{2} - \frac{t}{2}\right) = 197 \text{ см}^3,$$

а коэффициент эквивалентности касательного напряжения на верхней кромке нижней полки равен:

$$K_{1n} = \frac{197}{4100 \cdot 15} = 0,0032.$$

Расчетный коэффициент эквивалентности касательного напряжения в месте присоединения стоек к нижней полке определится по формуле:

$$K_{1nb} = \frac{197}{4100 \cdot 2 \cdot 1,6} = 0,015,$$

тогда расчетные касательные напряжения в указанных точках равны:

$$\tau_{1H} = K_{1H} \cdot Q = 0,0032 \cdot 63,550 = 204 \text{ кгс/см}^2;$$

$$\tau_{1B} = K_{1B} \cdot Q = 0,015 \cdot 63,550 = 955 \text{ кгс/см}^2$$

Особое внимание при расчете усталостной выносливости литых рам двухосных тележек грузовых вагонов следует обращать на наличие концентраторов напряжений в местах резкого изменения формы поперечного сечения. При изгибе рам особую роль играет концентрация касательных напряжений, которые в местах резкого перехода от полок к стойкам поперечных сечений могут в два и более раз превосходить величины, вычисленные по формулам Журавского.

Представляется правомочным в расчетах учитывать из-за относительной малости радиуса закругления перехода от нижней полки к вертикальным стойкам местное увеличение касательных напряжений на поверхности с 313 кгс/см² до 616 кгс/см².

Определяющие выносливость литых рам тележек эквивалентные напряжения по вычисленным нормальным и касательным напряжениям в вагоностроении принято

рассчитывать по третьей энергетической теории прочности по формуле:

$$\tau_{1B}^- = 2 \cdot \tau_{1B} = 2 \cdot 955 = 1910 \text{ кгс/см}^2;$$

Тогда величины расчетных эквивалентных напряжений в нижней части критического по излому сечения точки V боковой литой рамы тележки типа 18-100 в принятых условиях нагружения окажутся равными:

$$\begin{aligned} \sigma_{VЭ} &= \sqrt{\sigma_V^2 + 3(\tau_{1B}^-)^2} = \sqrt{2980^2 + 3(1910)^2} = \\ &= 4440 \text{ кгс/см}^2 \end{aligned}$$

Анализ расчетной эпюры эквивалентных напряжений поперечного критического сечения ЕА литой боковой рамы двухосной тележки, представленной на рис.5в, показывает, что если на нижних волокнах нижней полки их величины равны 838 кгс/см², в местах присоединения к вертикальным стойкам по малым радиусам закруглений (до 5 мм) они достигают значений 1250 кгс/см², что и может явиться центрами усталостного трещинообразования и последующего излома рам.

Следует отметить, что в верхней части соответствующие величины эквивалентных напряжений из-за сжатости волокон несколько меньше: соответственно 752 кгс/см² и 1230 кгс/см².

Для более полной картины происходящих явлений и возникающих напряжений необходимо учитывать также влияние на эквивалентные напряжения формы сопряжений продольных профилей рам челюстей с центральной частью боковой литой рамы двухосной тележки грузового вагона. На наш взгляд, следует также учитывать тот факт, что при изгибе в местах резкого изменения формы или размеров возникает дополнительная концентрация напряжений в районе закруглений по радиусу мест присоединения, особенно внутренней челюсти нижней полки боковой рамы тележки.

В первом приближении модель боковой рамы и консоли буксовой челюсти может быть представлена в виде пластины толщиной δ и шириной $2a_1$ под действием пары сил с моментом M_1 . Тогда в зоне концентраций максимальные напряжения, согласно теории сопротивления материалов, определяются по формуле:

$$\sigma_{\max} = \sigma_u \frac{4 \cdot \frac{a_1}{\rho} \sqrt{\frac{a_1}{\rho}}}{3 \left[\sqrt{\frac{a_1}{\rho}} + \left(\frac{a_1}{\rho} - 1 \right) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{a_1}{\rho}} \right]} = \sigma_u \cdot K\sigma$$

Для рассматриваемого варианта боковой литой рамы двухосной тележки типа 18-100 имеем для точки А критического по излому сечения расчетные геометрические величины равны:

Тогда значение расчетного коэффициента увеличения напряжений может быть рассчитано по формуле:

$$K\sigma = \frac{4 \cdot \frac{9}{4} \sqrt{\frac{9}{4}}}{3 \left[\sqrt{\frac{9}{4} + \left(\frac{9}{4} - 1\right) \arctg \sqrt{\frac{9}{4}}} \right]} = 1,64$$

С учетом увеличения напряжения в зоне концентраторов соединения буксового проёма с боковой рамой максимальное напряжение составит:

$$\sigma_{max} = \sigma_{\sigma} \cdot K\sigma = 4440 \cdot 1,64 = 7300 \text{ кгс/см}^2$$

С учетом увеличения напряжения в зоне концентратора присоединения нижней полки к стойке боковой рамы в месте присоединения рамы буксового проема при прохождении грузовым вагоном крестовины стрелочного перевода достигает величины 7430 кгс/см^2 , что превышает предел прочности $5000\text{-}6000 \text{ кгс/см}^2$ качественной стали Ст.30 и приводит к появлению трещин.

С целью снижения величин сил удара при прохождении колесами тележки грузового вагона по стыковым соединениям рельсов и крестовинам стрелочных переводов возможна установка над буксой и под боковой рамой компактной метало-резино-пневматической рессоры малого прогиба под статической нагрузкой груженого вагона (на уровне $5,7 \text{ мм}$). В случае реализации такого проекта это позволит уменьшить величину неподрессоренной массы, приходящуюся на колесную пару, в два раза, а также снизить динамическое воздействие на боковую раму при прохождении колес по стыковым соединениям рельсов и крестовинам стрелочных переводов. При зазоре $1,4 \text{ мм}$ до смыкания опор метало-резино-пневматической рессоры предполагаемый приведенный зазор в крестовине приравнивается к 25 мм .

Тогда для варианта железнодорожного пути с рельсами Р75 на железобетонных шпалах ожидаемая максимальная сила удара по крестовине может быть определена по формуле

$$P_{max} = 25 \cdot 0,25 \cdot 239 / 0,475 = 315 \text{ кН}$$

Для сравнительных расчетов принимаем

$$Q\delta = 300 \text{ кН} = 30 \text{ тс}; \quad Qdx = 1,05 \text{ тс}; \quad Qdz = 29,6 \text{ тс}.$$

С учетом увеличения напряжения в зоне концентратора присоединения нижней полки к стойке боковой рамы при наличии над буксой метало-резино-пневматической рессоры в месте присоединения рамы буксового проема при прохождении грузовым вагоном крестовины стрелочного перевода суммарное напряжение достигает величины 5000 кгс/см^2 , что не превышает

предел прочности $5000\text{-}6000 \text{ кгс/см}^2$ качественной стали Ст. 30 и приводит к появлению трещин.

Работа боковых рам тележек грузовых вагонов сопровождается переменными нагрузками при прохождении колес по стыковым соединениям рельсов и по крестовинам стрелочных переводов, что является основной причиной внезапного появления трещин и разрушения даже при напряжениях, меньших, чем предел текучести материала. Трещины распространяются в направлении, перпендикулярном линии действия наибольших нормальных напряжений.

Как известно, количество циклов переменных нагружений боковой рамы до разрушения обратно пропорционально четвертой степени максимальных нормальных или эквивалентных напряжений в зоне опасных концентраторов. Выполненные расчеты показали, что за счет установки между буксами и боковой рамой тележки грузового вагона метало-резино-пневматической рессоры максимальные нормальные напряжения в одинаковых условиях эксплуатации уменьшатся в $1,28$ раза, а пробег грузового вагона до разрушения боковой рамы увеличится в $4,4$ раза.

Еще большего эффекта можно достичь если:

- увеличить толщину стенок стоек с 16 мм до 22 мм .
- выполнить сопряжение внешних стенок с нижней полкой по радиусу 20 мм и сопряжение внутренних стенок с нижней полкой по радиусу 30 мм при одновременном увеличении высоты боковой рамы тележки грузового вагона с 180 до 220 мм .

На рис. 6 представлена расчетная схема поперечного сечения предлагаемой боковой рамы тележки типа 18-100.

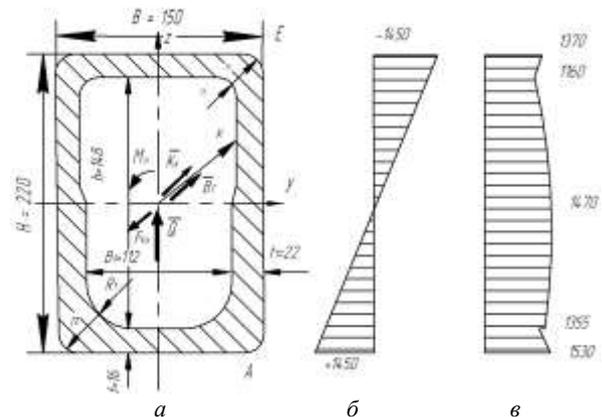


Рис. 6. Расчетная схема поперечного сечения предлагаемой боковой рамы тележки типа 18-100: а – критическое сечение рамы модернизированной; б – $\sigma_{\text{н}}$ “ $\sigma_{\text{н}}$ ” кгс/см^2 , в – $\sigma_{\text{э}}$ “ $\sigma_{\text{э}}$ ” кгс/см^2

Выполненные расчеты по приведенной методике показали, что предложенный профиль боковой рамы в районе буксового проема позволит уменьшить эквивалентные напряжения в критической по трещинообразованию зоне более чем в $2,4$ раза при прочих равных условиях

эксплуатации грузовых вагонов. Кроме того, за счет увеличения радиусов перехода в зоне сопряжения нижней полки со стойками ожидается снижение расчетного коэффициента продольных концентраций напряжений с 1,64 до 1,38, т.е. в 1,17 раза.

В целом величина эквивалентных напряжений в зоне возникновения трещин в боковой раме тележки грузового вагона может быть уменьшена в 2,8 раза по сравнению с базовым вариантом тележки типа 18-100 при прохождении крестовин стрелочных переводов на скорости 25 м/с с 7300 кгс/см² до 2550 кгс/см² без использования метало-резино-пневматических рессор между буксами и боковой рамой, что в 2 раза меньше предела прочности для качественной стали. При одновременном использовании метало-резино-пневматических рессор между буксами и измененной боковой рамой эквивалентные напряжения в критической по трещинообразованию зоне уменьшатся еще в 1,28 раза, что открывает возможность увеличения грузоподъемности грузовых четырехосных вагонов на 22 % при прочих равных условиях эксплуатации и возможном увеличении допустимой скорости движения до 100 км/ч.

Выводы

1. Практика современной эксплуатации грузовых вагонов с двухосными тележками типа 18-100 свидетельствует о резком увеличении потока разрушений литых боковых рам тележек и схода вагонов с колеи, приводящих к снижению безопасности функционирования железнодорожного транспорта в целом.

2. Существующие методики расчета не обеспечивают достаточной прогнозируемой надежности эксплуатации спроектированного подвижного состава без учета совместного действия как статических и динамических сил, так и реализации сил торможения.

3. Предложена уточненная методика оценки прочностного состояния боковой рамы тележки грузового вагона, которая основана на определении напряжений в модели условно жестко заделанной рамы челюсти к центральной части боковой рамы.

4. Учет наличия концентраторов напряжения в местах сопряжения консоли буксового проема с центральной частью боковой литой рамы позволил с достаточной точностью определить место наиболее вероятного появления трещины и излома рамы расчетным путем.

5. Предложены пути снижения расчетных напряжений в материале боковой литой рамы двухосной тележки грузового вагона, которые связаны:

- с изменением конструкции сопряжения рамы буксового проема и боковой литой рамы;
- с увеличением радиусов закругления переходов от нижней полки к стойкам поперечного сечения;

- с установкой в проемах между буксами и боковой рамой металло – резино-пневматических рессор.

6. Расчеты показали, что проведение конструктивных мероприятий по установке металло–резино-пневматической рессоры между буксой и боковой рамой тележки грузового вагона позволит:

- снизить уровень эквивалентных напряжений, в критическом по разрушению излому боковой литой рамы, в 2,8 раза при прочих равных условиях эксплуатации;

- обеспечить увеличение пробега вагона без выхода из строя по данному фактору более чем в 4,4 раза.

7. Комплексное использование измененной боковой рамы и метало-резино-пневматических рессор между буксами и боковой рамой открывает возможность повышения грузоподъемности четырехосных грузовых вагонов и максимальной скорости на 22% по критерию трещинообразования в районе буксовых челюстей боковой рамы.

Литература

1. Вагоны Учебник для вузов ж.-д. трансп./ Под ред. Л.А.Шадура-3-е изд., перераб. и доп – М.: Транспорт, 1980.-439 с.
2. Голубенко А.Л., Губачева Л.А., Андреев А.А., Мокроусов С.Д. Особенности рамы тележки грузового вагона и усталостная прочность / Вісник СНУ ім. В.Даля-2013-№9(198).Ч.1. 2013.
3. Цыган Б.Г., Мокроусов С.Д. Современное состояние и перспективы развития ходовых частей грузового подвижного состава. – Трансмаш, № 10. Луганск, 2012. С. 25-30.
4. Губачева Л.О., Андреев О.О., Мокроусов С.Д., Щербakov В.П., Кравченко С.Б., Потапенко О.О. Бічна рама вагонного візка. Пат. України №86815. Опубл. 10.01.2014.Бюл.№1.
5. Иосилевич Г.Б. и др. Прикладная механика: для студентов вузов.- М.: Машиностроение,1985. - Стр.247-258.
6. Динамика вагона. Вершинский С.В., Данилов В.И., Челноков И.И. М.: Транспорт, 1972. С.33-63.
7. Справочник по сопротивлению материалов/ Отв. ред. Писаренко Г.С.- 2-е изд., перераб. и доп.- Киев: Наук. Думка. 1988.- 736 с.

References

1. Vagony Uchebnik dlja vuzovzh.-d. transp./ Pod red. L.A.Shadura.-3-e izd., pererab. idop – M.: Transport, 1980.-439 s.
2. Golubenko A. L. ,Gubacheva L.A., Andreev A.A., Mokrousov S.D. Features the frame freight wagons and fatigue strength. – Visnik ANU im. V. Dalja – 2013 - 9(198) ch.1, str. 7 – 16.
3. Cygan B.G., Mokrousov S.D. Sovremennoe sostojanie I perspektivy razvitija hodovyh chastej gruzovogo podvizhnogo sostava.- «Transmash» № 10. Lugansk, 2012.Str.25=30.
4. Gubacheva L.O., Andreev O.O., Mokrousov S.D., Scherbakov V.P., Kravchenko S.B., Potapenko O.O. Bichna rama vagonnogo wizka. Pat/UA 86815. Publ. 10.01.2014. Bul. 1.
5. Iosilevich G.B. i dr. Prikladnaja mehanika: dlja studentov vuzov.- M.: Mashinostroenie,1985.- Str.247-258.

6. Dinamika vagona. Vershinskij S.V., Danilov V.I., Chelnokov I.I. M.: «Transport», 1972. Str.33-63.

7. Spravochnik po soprotivleni jumaterialov/ Otv. red. Pisarenko G.S.- 2-e izd., pererab. idop.- Kiev: nauk. Dumka. 1988. - 736 s.

Ryabichev V.D., Gubacheva L.A., Andreev A.A.
INCREASE OF THE FATIGUE ENDURANCE OF THE FREIGHT WAGONS BOGIE FRAMES

Considered questions about the effects geometry of the side frametruck-type 18-100 on the fatigues tamina and proposed actionto improve thes treng thrunning parts of the freight car.

Keywords: *frame, truck, car, designfactors, diagrams offorces, stress distribution, stress concentrators, the fatigue endurance.*

Рябичев Виктор Дронович, д.т.н., проф., ректор ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Ryabichev Viktor Dronovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Губачева Лариса Александровна, д.т.н., проф., зав кафедрой «Промышленный и городской транспорт». ГОУ

ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: gubacheva_snu@bk.ru

Gubacheva Larisa Aleksandrovna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial and Urban Transport State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: gubacheva_snu@bk.ru

Андреев Александр Александрович, к.т.н., доц., кафедры «Промышленный и городской транспорт». ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Andreev Aleksandr Aleksandrovich, Ph.D, Associate Professor, Departmen to Industrial and Urban Transport. State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Транспортные системы» Луганский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск.

Статья подана 12.03.2019

УДК 625.7.8

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НЕСУЩЕГО СЛОЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И.****INCREASE THE RELIABILITY OF THE BEARING LAYER OF ROAD CLOTHES****Slobodyanyuk M.E., Nechaev G.I.**

Проанализированы причины малой долговечности автомобильных дорог с многослойным покрытием. Предположена методика расчета параметров несущего слоя с учетом механических свойств и внутреннего трения его материала.

Рассмотрен механизм взаимосвязи верхних слоев дорожного покрытия между собой с позиции возможного сдвига и обеспечения монолитности. Предположена методика расчета прочности контакта между слоями на сдвиг.

Ключевые слова: автомобильная дорога, многослойные дорожные покрытия, несущий слой, взаимодействие слоев, прочностные характеристики, расчет параметров.

Опыт эксплуатации автомобильных дорог, особенно отечественных, показывает, что несмотря на существенные ежегодные затраты на ремонты поддержание их хотя бы в удовлетворительном состоянии, последнее желает быть лучше. Причем неудовлетворительного состояния дорог и факторов влияющих на него много, начиная от правильности выбора их конструктивных элементов, материалов, условий работы, качества выполняемых работ при строительстве и ремонтах, срок эксплуатации и другие.

Для улучшения состояния дорог и повышение их долговечности, безусловно, необходимо учитывать все факторы и использовать все доступные методы. Важнейшим фактором является выбор и расчет дорожной одежды с учетом климатических условий, используемых материалов и условий работы.

Разработка методов расчета дорожных одежд посвящено много работ отечественных и зарубежных ученых [1, 2, 3, 4, 6]. Однако неудовлетворительное состояние, как минимум 50 % дорог, говорит о том, что либо не все факторы учтены, либо не все из учтенного реализовано.

Дорога является одним из элементов транспортной системы и в свою очередь, как конструктивный элемент, представляет собой систему взаимодействующих элементов в виде различных слоев.

По этому, рассматриваемая дорога как система, должна иметь область устойчивого состояния, в данном случае, в виде срока службы. Это значит, что последний не будет существенно отклоняться от проектного в сторону увеличения или уменьшения за счет некоторого текущего изменения параметров отдельных элементов или условий работы.

Естественно, для выполнения этого условия необходимо определить, выделить и рассчитать главный элемент, обеспечивающий работоспособное состояние дороги. Многослойная конструкция дорожной одежды необходима для обеспечения различных характеристик, т.е. грузонесущей способности, износоустойчивости, сопротивлению воздействию атмосферных агентов и другое. Все они в определенной мере оказывают влияние на несущую способность дороги, но не являются определяющими, но влияющими одна на другую. Главной характеристикой дороги, исходя из вышеприведенного, является ее несущая способность. Очевидно, что эту способность обеспечивает несущий слой, передающий нагрузку от транспортных средств на грунт дорожной насыпи или подстилочный и дренирующий слой. Задача стоит лишь в том, как определить параметры этого слоя.

Существуют и описаны различные методы и методики расчета дорожных одежд. Многие параметры автодорог гостированы. Поэтому нет необходимости подвергать их анализу на предмет поиска несовершенства. Тем не менее анализ известных методик показал, что практически во всех случаях нагрузка от колеса на первый слой дорожной одежды заменяется площадкой эквивалентного диаметра, а далее через остальные слои передающая на несущий слой. По условию прочности дорожного покрытия удельная нагрузка, передаваемая на грунт дорожной призмы не должна превышать допустимой для данного грунта т.е.

$$\Delta P \leq [\sigma_{гр}] \text{ или } P/F \leq [\sigma_{гр}],$$

где P – нагрузка от одного колеса или спарки;

F – размер площадки на грунте воспринимающей нагрузку,

Размер площадки определяется как:

$$\frac{P}{[\sigma_{гр}]} = F.$$

Рассмотрим схему нагружения дорожной одежды и грунта.

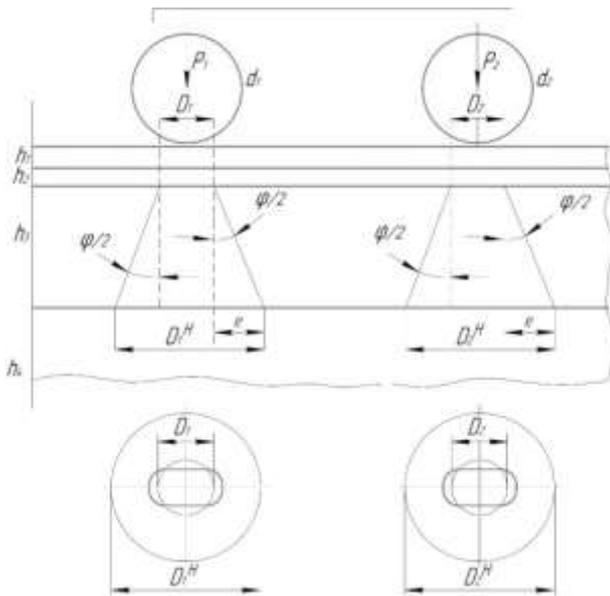


Рис. 1 Схема нагружения дорожной одежды одиночными колесами двухосного транспортного экипажа где P_1 и P_2 – нагрузка на переднюю и заднюю оси соответственно;

D_1 и D_2 – эквивалентные диаметры переднего и заднего контакта колес с дорогой;

D_1^H и D_2^H – Диаметры площадок распределенной и передаваемой на грунт нагрузки;

φ – угол внутреннего трения материала несущего слоя дорожной одежды;

h_n – толщина соответствующего слоя дорожной одежды.

Следует отметить, что при сбалансированной задней подвеске нагруженной от колес обеих осей одинаковы, т.е. $P_1 = P_2$, а эквивалентные диаметры спарок задних осей равны $D_1 = D_2$. Кроме того, известно, что верхний слой дорожного покрытия h_1 работает на истирание, второй h_2 – выравнивающий слой, работает на сдвиг.

Поэтому примем, что за счет этих слоев диаметры D_1 и D_2 не изменяются до верхней поверхности несущего слоя. Тогда рассматривая рис.1 диаметры D_1^H и D_2^H определяются следующим образом.

Примем, что $D_1^H = D_2^H$.

$$F = \frac{\pi (D_1^H)^2}{4} = \frac{P}{[\sigma_{гр}]}$$

где F – площадь поверхности грунта, воспринимающий нагрузку от несущего слоя дорожной одежды;

D_1^H – диаметр эквивалентного круга площади поверхности F ;

P – нагрузка от колеса на поверхность дорожной одежды;

$\sigma_{гр}$ – допустимая нагрузка на поверхность грунта.

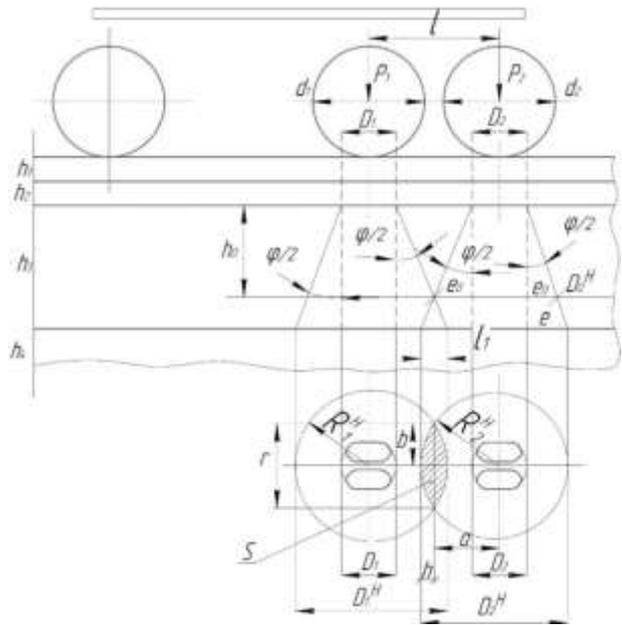


Рис. 2 Схема нагружения дорожной одежды трехосным экипажем, две из сторон спарки.

где l – расстояние между осями задних колес;

D – диаметр колес.

Отсюда:

$$\pi (D_2^H)^2 = \frac{4P}{[\sigma_{гр}]}; \quad (D_2^H)^2 = \frac{4P}{[\sigma_{гр}]\pi};$$

$$D_2^H = \sqrt{\frac{4P}{\pi[\sigma_{гр}]}};$$

Из рисунка 1 следует, что $D_2^H = D_2 + 2e$

$$e = \frac{D_2^H - D_2}{2}$$

$$\text{тогда, } \text{tg}(\varphi/2) = \frac{e}{h_3}; \quad h_3 = \frac{e}{\text{tg}(\varphi/2)}.$$

где h_3 – высота грузонесущего слоя дорожной одежды.

Рассчитывая схему трехосного экипажа характерного для большегрузных автомобилей и другой колесной техники (рис.2.) можно заметить, что при больших углах внутреннего трения φ свойственных, например монолитному бетонному несущему слою или малым углам φ , но большой толщине грузонесущего слоя согласно расчета, а так же учесть, что в реальных условиях опорная поверхность колеса является эллипсоидом и конуса передачи нагрузки на грунт колесами соседних осей будут ближе друг к другу, возможно возникновение зоны на поверхности грунта, находящейся под двойной удельной нагрузкой, т.е. $\Delta P_1 + \Delta P_2$.

Это возможно если расстояние (рис.2) между соседними колесными осями окажется меньше чем $\frac{D_1^H + D_2^H}{2}$, т.е.

$$\left(\frac{D_1^H}{2} + \frac{D_2^H}{2}\right) > l$$

т.е. если $\Delta P_1 = \frac{P_1}{F_1}, \Delta P_2 = \frac{P_2}{F_2}$, $aP_1 = P_2$ и $F_1 = F_2$, то удельная разгрузка поверхности S определяется как $2\Delta PS$

где S – площадь, находящаяся под двойной нагрузкой.

Из схемы (рисунка 2)

$$\begin{aligned} l_1 &= (R_1^H + R_2^H) - l; \\ R_1^H + R_2^H &= D^H; \\ h &= \frac{l_1}{2} = \frac{D^H - l}{2} = R_1^H - a; \\ a &= R_1^H - h; \\ r &= 2b; \\ b^2 &= (R_1^H)^2 - a^2; b = \sqrt{(R_1^H)^2 - (R_1^H - h)^2}; \\ S &= \frac{4}{3}rh = \frac{4}{3}\sqrt{(R_1^H)^2 - (R_1^H - h)^2}D_1^H - l \end{aligned}$$

Таким образом, при расчете нагрузки передающейся на грунт дорожной призмы при соизмеримых площадках F и S факт удвоенной нагрузки необходимо учитывать путем оптимизации и выбора угла внутреннего трения материала несущего слоя и допустимых нагрузок на грунт и других параметров дорожного покрытия в зависимости от действующих нагрузок движущихся экипажей.

Для исключения возможности возникновения зоны удвоенной нагрузки необходимо оптимизировать толщину несущего слоя h_0 (рис.2) и в связи с ее уменьшением определить допустимую нагрузку для грунта насыпи следующим образом.

Примем, что $d_1 = d_2 = d$; $D_1^H = D_2^H = D^H$; $R_1^H = R_2^H = R^H$; $D_1 = D_2 = D$

Площадь опорной поверхности F конуса

$$F = \frac{\pi(D_0^H)^2}{4} = \frac{\pi(D + 2e_0)^2}{4}$$

А удельная нагрузка на этой поверхности составит:

$$\frac{4P}{\pi(D + 2e_0)^2} \leq [\sigma_{гр}], \text{ откуда}$$

$$D + 2e_0 = \sqrt{\frac{4P}{\pi[\sigma_{гр}]}} = D_0^H, \text{ откуда}$$

$$e_0 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{4P}{\pi[\sigma_{гр}]}} - D \right) = \frac{l - D}{2};$$

$$\sqrt{\frac{4P}{\pi[\sigma_{гр}]}} - D = l - D;$$

следовательно

$$l = \sqrt{\frac{4P}{\pi[\sigma_{гр}]}};$$

а допустимая удельная нагрузка на грунт должна составлять $[\sigma_{гр}] \geq \frac{4P}{\pi l^2}$, или другими словами, грунт должен выдерживать эту нагрузку.

Вторая задача расчётов несущей способности дорожных одежд, это оценка влияния на эту характеристику верхних слоев.

Сразу следует дать ответ на вопрос – нельзя не рассматривать все слои, как одно целое с точки зрения восприятия и передачи нагрузки. Нельзя, так как слои имеют сравнительно небольшую толщину, выполнены из различных материалов и нанесены в разное время и по различным технологиям, что не обеспечивает их однородность и хорошее сцепление между собой.

Основное назначение первого слоя – это обеспечение износостойкости (работает на истирание) и осуществляет влагоизоляцию следующих слоев. Второй слой – выравнивающий и передающий нагрузку на грузонесущий слой и вместе с первым, вызывая в конструкции дорожной одежды объемное напряженно-деформированное состояние. Кроме того, все слои многослойного покрытия работают в различных температурных условиях. Поэтому даже незначительное отклонение параметров, свойств, характеристик материалов или технологии производства работ может изменить устойчивость характеристик дороги, т.е. допустимой нагрузки, долговечность и другие.

Вызывая в конструкции дорожной одежды объемнонагружено-деформированное состояние.

Следовательно, в данной задаче необходимо оценить прочность соединения (контакта) на сдвиг и условия монолитности дорожного покрытия. Для этого необходимо определить величинудвигающих напряжений между слоями (τ_{rz}).

Смоделируем задачу о напряженно-деформированном состоянии дорожной одежды состоящей из трех, соединенных между собой, слоев лежащих на одном полупространстве, т.е. земляном полотне, которое условно назовем 4-м слоем. Будем считать, что каждый слой ограничен параллельными плоскостями и для каждого слоя одна будет верхней, другая нижней (рис. 3).

Каждый слой характеризуется своими параметрами упругости материала – модулем G_k и коэффициентом Пуассона ν_k , k – номер слоя. Таким образом, у первого слоя характеристика упругости – G_1, ν_1 у второго – G_2, ν_2 – и т.д.

Толщины слоев обозначим символами h_k . Общая толщина пакета – h .

Кроме того все другие величины, относящиеся к k -му слою, обозначим верхним индексом (k).

С упругим телом, которое изучается, свяжем цилиндрическую систему координат r, β, z начало которой положим на поверхности, а ось z направим вертикально вниз.

На слоистое тело в положительном направлении осиздействует сжимающая нагрузка, которая изменяется по закону $f = f(r, \beta)$. Относительно характера распределения этих усилий по поверхности предположим что его можно

представить в виде двойного разложения в ряд Фурье по координате β , а интеграл Ханкеля по r .

$$f(r, \beta) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} e^{im\beta} \int_0^{\infty} \alpha g_m(\alpha) J_m(\alpha r) d\alpha, \quad (1)$$

$$g_m(\alpha) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\beta \int_0^{\infty} f(r, \beta) \cdot e^{-im\beta} J_m(\alpha r) r dr,$$

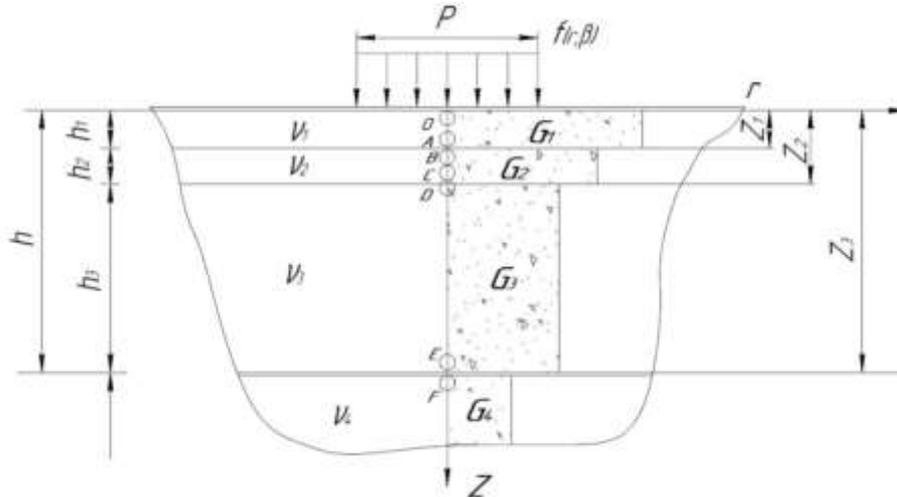


Рис. 3. Расчетная схема конструкции, находящейся под воздействием сжимающей нагрузки

Тут $J_m(\alpha r)$ – функция Бесселя первого рода порядка m .

Заметим, что для существования интегрального представления (1) необходимо, чтобы функция $f = f(r, \beta)$ вела себя определенным образом на всех интервалах изменения переменных. Так, например, если нагрузка симметрична, т.е. $f = \varphi(r)$, то должны сходиться интегралы

$$\int_0^{\infty} \sqrt{\alpha} |\varphi(\alpha)| d\alpha, \quad \int_0^1 \alpha |\varphi(\alpha)| d\alpha,$$

что для реальных случаев загрузки дорожной конструкции всегда обеспечено.

Для решения этой задачи использована методика, предложенная в работах В.П. Плевако и В.Н. Ряпухина [1] и В.П. Плевако [2], обобщенная для наиболее общего случая нагружения (в упомянутых работах исследовался случай ассиметричной деформации других слоистых тел).

Как известно из курса теории упругости для разрешения сформулированной задачи необходимо рассмотреть весьма сложную систему дифференциальных уравнений. В работах показано, что эту систему можно разделить на две более простые подсистемы.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial S_1}{\partial z} &= -S_2 + \frac{1}{G} S_4 \\ \frac{\partial S_2}{\partial z} &= -\frac{v}{1-v} \Delta S_1 + \frac{1-2v}{2(1-v)G} S_4 \\ \frac{\partial S_3}{\partial z} &= -\Delta S_4 \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$\frac{\partial S_4}{\partial z} = -\frac{2G}{1-v} \Delta S_1 - \frac{v}{1-vG} S_3$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial z} &= \frac{T_2}{G} \\ \frac{\partial T_2}{\partial z} &= -\Delta G T_1 \\ \Delta &= \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \right) \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Тут и ниже Δ – двумерный оператор Лапласа. Перемещения u_r, u_β, u_z и напряжения $\sigma_r, \sigma_\beta, \sigma_z, \tau_{rz}, \tau_{r\beta}, \tau_{\beta z}$, выражаются следующим образом через введение функций $S_i (i=1,2,3,4)$,

$T_j (j=1,2)$ и их производные по r и β :

$$\left\{ \begin{aligned} u_r &= \frac{\partial S_1}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial \beta}, & u_\beta &= \frac{1}{r} \frac{\partial S_1}{\partial \beta} - \frac{\partial T_1}{\partial \beta}, \\ & & u_z &= S_2, \\ \sigma_r &= \frac{2G}{1-v} \left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{v}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \beta^2} \right) \right] S_1 + \frac{v}{1-v} S_3 + 2G \frac{\partial^2}{\partial r \partial \beta} \left(\frac{T_1}{r} \right), \\ \sigma_\beta &= \frac{2G}{1-v} \left(v \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial r \partial \beta} \right) S_1 + \frac{v}{1-v} S_3 - 2G \frac{\partial^2}{\partial r \partial \beta} \left(\frac{T_1}{r} \right), \\ \tau_{r\beta} &= 2G \frac{\partial^2}{\partial r \partial \beta} \left(\frac{S_1}{r} \right) + G \left(\Delta - 2 \frac{\partial^2}{\partial r^2} \right) T_1, & \sigma_x &= S_3, \\ & & & = S_3, \end{aligned} \right. \quad (4)$$

$$\tau_{rz} = \frac{\partial S_4}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial \beta}, \quad \tau_{\beta z} = \frac{1}{r} \frac{\partial S_4}{\partial \beta} - \frac{\partial T_2}{\partial r},$$

Итак, пространственная задача теории упругости сводится к поиску таких решений систем уравнений (2), (3) для каждого слоя, которые удовлетворяли бы граничным условиям. Рассмотрим эти условия подробнее.

На поверхности $z=0$ конструкции они имеют вид

$$\sigma_z^{(1)} = -f(r, \beta), \quad \tau_{rz}^{(1)} = 0, \quad \tau_{\beta z}^{(1)} = 0 \quad (5)$$

т.е. действует нормальная сжимающая нагрузка $f(r, \beta)$, и касательные усилия равны нулю.

Верхние слои дорожной одежды возводятся из материалов, имеющих монолитную структуру. В этом случае обеспечивается, практически, полное сцепление между слоями пакета, т.е. непрерывность перемещений u_r, u_β, u_z и напряжения $\sigma_z, \tau_{rz}, \tau_{\beta z}$. Поэтому граничные условия в зонах контактов ($z=h_1$ и $z=h_1+h_2$) имеют вид

$$\begin{aligned} u_z^{(m)} &= u_z^{(m+1)}, & u_r^{(m)} &= u_r^{(m+1)}, & u_\beta^{(m)} &= u_\beta^{(m+1)}, \\ \sigma_z^{(m)} &= \sigma_z^{(m+1)}, & \tau_{rz}^{(m)} &= \tau_{rz}^{(m+1)}, & \tau_{\beta z}^{(m)} &= \tau_{\beta z}^{(m+1)}. \end{aligned} \quad (6)$$

$(m=1,2)$

Если $z=h_1$, то $m=1$, а если $z=h_1+h_2$, то $m=2$, т.е. m – это номер слоя.

В основание пакета укладывается, как правило, дискретный или малосвязный материал, причем модуль упругости низа пакета слоев значительно больше модуля основания ($E_3 \gg E_4$). Поэтому при приложении внешней нагрузки $f(r, \beta)$ нижние волокна третьего слоя начнут растягиваться и вовлекать в этот процесс подстилающий материал. Если он дискретный или малосвязный, то не сможет выдержать растягивающих напряжений. Частицы основания разойдутся, следовательно, силы трения, которые в зоне контакта $z=h$ реализуются в виде касательных напряжений $\tau_{rz}, \tau_{\beta z}$, упадут до нуля.

То же самое будет и в случае, когда материал основания плохо сцеплен со слоем. Тогда при появлении в зоне контакта касательных напряжений сцепление может нарушиться. Произойдет мгновенный относительный сдвиг, а $\tau_{rz}, \tau_{\beta z}$ уменьшатся до нуля.

В этих случаях граничные условия на плоскости контакта $z=h$ следует записать так:

$$\begin{aligned} u_z^{(3)} &= u_z^{(4)}, & \sigma_z^{(3)} &= \sigma_z^{(4)}, & \tau_{rz}^{(3)} &= 0, \\ \tau_{\beta z}^{(3)} &= 0, & \tau_{rz}^{(4)} &= 0, \\ & & \tau_{\beta z}^{(4)} &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Решение поставленной задачи будем искать в предположении, что функции $T_1^{(k)}=T_2^{(k)}=0$ ($k=1,2,3,4$), а функции $S_i^{(k)}$ ($i=1,2,3,4$) в уравнениях (2) можно представить в виде

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} S_1^{(k)} \\ S_2^{(k)} \\ S_3^{(k)} \\ S_4^{(k)} \end{pmatrix} &= \\ &= - \sum_{m=-\infty}^{+\infty} e^{im\beta} \int_0^\infty g_m(\alpha) J_0(\alpha r) e^{-\alpha z} \begin{pmatrix} S_1^{(k)}(z, \alpha) \\ \alpha G_1 \\ S_2^{(k)}(z, \alpha) \\ G_1 \\ \alpha S_3^{(k)}(z, \alpha) \\ S_4^{(k)}(z, \alpha) \end{pmatrix} d\alpha, \end{aligned} \quad (8)$$

где $S_i^{(k)}(z, \alpha)$ – неизвестные функции подлежащие определению.

Подставляя соотношения (8) в уравнение (2), получаем для каждого слоя систему обыкновенных линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами

$$\frac{dS}{dz} = \alpha A \quad (9)$$

$$S = \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{pmatrix}, \quad A =$$

$$= \begin{pmatrix} -1 & -1 & 0 & \frac{1}{G^+} \\ \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)G^+} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ \frac{2G^+}{1-\nu} & 0 & -\frac{\nu}{1-\nu} & 1 \end{pmatrix}$$

Здесь для упрощения записей верхний индекс (k) у функций $S_i^{(k)}$ и $S^{(k)}$ опущен. Опущены так же нижние индексы в параметрах ν и G , при чем $G^+ = \frac{G}{G_1}$ – относительный модуль сдвига. Таким образом $G^+=1$ для первого слоя, $G^+ = \frac{G_2}{G_1}$ – для второго и т.д.

Подставляя соотношения (8) в зависимости (4), получаем формулы для отыскания перемещений и напряжений в каждом слое (для упрощения записей верхние индексы (k) и нижние при G и ν опущены)

$$u_r = \frac{1}{G_1} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} e^{im\beta} \int_0^\infty g_m(\alpha) Q_{1m} e^{-\alpha z} S_1(z, \alpha) d\alpha,$$

$$u_p = -\frac{1}{G_1} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} m e^{im\beta} \int_0^{\infty} \frac{g_m(\alpha)}{\alpha r} J_m(\alpha r) e^{-\alpha z} S_1(z, \alpha) d\alpha,$$

$$u_z = -\frac{1}{G_1} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} e^{im\beta} \int_0^{\infty} g_m(\alpha) J_m(\alpha r) e^{-\alpha z} S_2(z, \alpha) d\alpha,$$

$$\sigma_r = 2G^+ \sum_{m=-\infty}^{+\infty} e^{im\beta} \int_0^{\infty} g_m(\alpha) \alpha Q_{2m} e^{-\alpha z} S_1(z, \alpha) d\alpha +$$

$$+ \frac{v}{1-v} \sum_{m=-\infty}^{\infty} e^{im\beta} \int_0^{\infty} g_m(\alpha) J_m(\alpha r) \alpha e^{-\alpha z} [2G^+ S_1(z, \alpha) - S_3(z, \alpha)] d\alpha,$$

$$\sigma_\beta = \frac{2G^+}{r} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} e^{im\beta} \int_0^{\infty} g_m(\alpha) Q_{3m} e^{-\alpha z} S_1(z, \alpha) d\alpha +$$

$$+ \frac{v}{1-v} \sum_{m=-\infty}^{\infty} e^{im\beta} \int_0^{\infty} g_m(\alpha) \alpha J_m(\alpha r) e^{-\alpha z} [2G^+ S_1(z, \alpha) - S_3(z, \alpha)] d\alpha,$$

$$\sigma_z = -\sum_{m=-\infty}^{+\infty} e^{im\beta} \int_0^{\infty} g_m(\alpha) J_m(\alpha r) e^{-2z} S_3(z, \alpha) d\alpha, \quad (10)$$

$$\tau_{rz} = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} e^{im\beta} \int_0^{\infty} g_m(\alpha) \alpha Q_{1m} e^{-\alpha z} S_4(z, \alpha) d\alpha,$$

$$\tau_{\beta z} = -\frac{i}{r} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} m e^{im\beta} \int_0^{\infty} g_m(\alpha) J_m(\alpha r) e^{-\alpha z} S_4(z, \alpha) d\alpha,$$

$$\tau_{r\beta} = i \frac{2G^+}{r} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} e^{im\beta} \int_0^{\infty} g_m(\alpha) \alpha Q_{4m} e^{-\alpha z} S_1(z, \alpha) d\alpha,$$

где $g_m(\alpha)$ – трансформанта Фурье–Ханкеля внешней нагрузки (см. (1));

В формулах (10) введены следующие обозначения для комбинаций функций Бесселя:

$$Q_{1m} = J_{m+1}(\alpha r) - \frac{m}{\alpha r} J_m(\alpha r),$$

$$Q_{2m} = \left(1 - m \frac{m-1}{\alpha^2 r^2}\right) J_m(\alpha r) - \frac{1}{\alpha r} J_{m+1}(\alpha r),$$

$$Q_{3m} = J_{m+1}(\alpha r) + m \frac{m-1}{\alpha r} J_m(\alpha r),$$

$$Q_{4m} = J_{m+1}(\alpha r) - \frac{m-1}{\alpha r} J_m(\alpha r)$$

Если внешняя нагрузка осесимметрична, т.е. не зависит от β и имеет вид $f = f(r)$, то, согласно (1), $g_m(\alpha) = 0$ для всех $m \neq 0$. При этом зависимости (10) значительно упрощаются, т.к. от рядов остается по одному члену, которые соответствуют случаю $m=0$.

$$u_r = \frac{1}{G_1} \int_0^{\infty} g(\alpha) J_1(\alpha r) e^{-\alpha z} S_1(z, \alpha) d\alpha,$$

$$u_z = -\frac{1}{G_1} \int_0^{\infty} g(\alpha) J_0(\alpha r) e^{-\alpha z} S_2(z, \alpha) d\alpha,$$

$$\sigma_r = 2G^+ \int_0^{\infty} g(\alpha) \alpha \left[\frac{1}{1-v} J_0(\alpha r) - \frac{1}{\alpha r} J_1(\alpha r) \right] e^{-\alpha z} S_1(z, \alpha) d\alpha + \frac{v}{1-v} \sigma_z,$$

$$\sigma_\beta = 2G^+ \int_0^{\infty} g(\alpha) \alpha \left[\frac{v}{1-v} J_0(\alpha r) + \frac{1}{\alpha r} J_1(\alpha r) \right] e^{-\alpha z} S_1(z, \alpha) d\alpha + \frac{v}{1-v} \sigma_z, \quad (11)$$

$$\sigma_z = -\int_0^{\infty} g(\alpha) \alpha J_0(\alpha r) e^{-\alpha z} S_3(z, \alpha) d\alpha,$$

$$\tau_{rz} = \int_0^{\infty} g(\alpha) \alpha J_1(\alpha r) e^{-\alpha z} S_4(z, \alpha) d\alpha,$$

$$u_\beta = \tau_{\beta z} = \tau_{r\beta} = 0$$

Здесь вместо $g(\alpha)$ введена новая функция $g_0(\alpha)$, для описания которой используем формулу, которая получена из (1)

$$f(r) = \int_0^{\infty} \alpha g_0(\alpha) J_0(\alpha r) d\alpha, \quad (12)$$

$$g_0(\alpha) = \int_0^\infty rf(r)J_0(ar)dr$$

Подставляя соответствующие зависимости из формул (10) в равенства (5) и учитывая (1), получаем граничные условия для функции $S^{(l)}$ на поверхности $z=0$ пакета слоев

$$S_3^{(1)}(0, \alpha) = 1, \quad S_4^{(1)}(0, \alpha) = 1 \quad (13)$$

Граничные условия для функции $S^{(k)}(z, \alpha)$ в зонах контакта слоев пакета ($z=h_1$ и $z=h_1 + h_2$) получим из равенства (6), подставим в них (10)

$$\begin{aligned} S_1^{(m)}(z_m, \alpha) &= S_1^{(m+1)}(z_m, \alpha), \\ S_2^{(m)}(z_m, \alpha) &= S_2^{(m+1)}(z_m, \alpha) \quad (14) \\ S_3^{(m)}(z_m, \alpha) &= \\ S_3^{(m+1)}(z_m, \alpha), \quad S_4^{(m)}(z_m, \alpha) &= S_4^{(m+1)}(z_m, \alpha) \quad (m \\ &= 1, 2) \end{aligned}$$

Здесь, как и ранее, если $z=z_l=h_l$, то $m=1$, а если $z=z_2=h_1+h_2$, то $m=2$. Граничные условия при $z=h$ (основание пакета из трех слоев) получим из соотношения (7), подставив в них зависимости (10)

$$\begin{aligned} S_2^{(3)}(\square, \alpha) &= S_2^{(4)}(\square, \alpha), \\ S_3^{(3)}(\square, \alpha) &= S_3^{(4)}(\square, \alpha), \quad (15) \end{aligned}$$

$$S_4^{(3)}(\square, \alpha) = 0 \quad S_4^{(4)}(\square, \alpha) = 0$$

Кроме того функции $S^{(k)}(z, \alpha)$ должны быть такими, чтобы напряжения и смещения были ограниченными при $z \rightarrow \infty$.

Итак, трехмерная задача теории упругости сведена к поиску для каждого слоя таких решений системы обыкновенных линейных дифференциальных уравнений (9), которые позволили бы удовлетворить граничным условиям (13), (14), (15)

Функцию $S^{(k)}(z, \alpha)$ для полупространства можно принять в виде:

$$\begin{aligned} S_1^{(4)} &= -\frac{1}{2G_4^+} [(1 - 2v_4)C_1 + 2(1 - v_4)C_2 - \alpha(z - h)(C_1 + C_2)], \\ S_2^{(4)} &= -\frac{1}{2G_4^+} [2(1 - v_4)C_1 + (1 - v_4)C_2 + \alpha(z - h)(C_1 + C_2)], \quad (16) \\ S_3^{(4)} &= C_1 + \alpha(z - h)(C_1 + C_2), \quad S_4^{(4)} \\ &= C_2 - \alpha(z - h)(C_1 + C_2), \end{aligned}$$

где C_1, C_2 – произвольные функции параметра интегрирования α , которые следует подобрать так, чтобы были удовлетворены соответствующие граничные условия.

В случае гладкого контакта пакета слоев с полупространством из требования $S_4^{(4)}(h, \alpha) = 0$ сразу следует, что $C_2 = 0$.

Тогда:

$$\begin{aligned} S_1^{(4)} &= -\frac{1}{2G_4^+} [1 - 2v_4 - \alpha(z - h)]C_1, \quad S_2^{(4)} \\ &= -\frac{1}{2G_4^+} [2(1 - v_4 + \alpha(z - h))]C_1, \end{aligned}$$

$$S_3^{(4)} = [1 + \alpha(z - h)]C_1, \quad S_4^{(4)} = -\alpha(z - h)C_1 \quad (17)$$

Таким образом, матрица-столбец $S_4^{(4)}$ при $z=h$ (поверхность полупространства) принимает форму

$$S^{(4)}|_{(z=h)} = \begin{pmatrix} -\frac{1 - 2v_4}{2G_4^+} C_1 \\ -\frac{1 - v_4}{G_4^+} C_1 \\ C_1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (18)$$

Обозначим символом $\Omega_{z_k}^z(\alpha A^{(k)})$ матрицы системы (9) для k -го слоя, т.е. фундаментальную матрицу, которая обращается в единственную при $Z=Z_k$. Тогда решение этой системы с граничным условием на нижней поверхности $Z=Z_k$

$$S^{(k)}|_{z=z_k} = S_k$$

запишется так:

$$S^{(k)} = \Omega_{z_k}^z(\alpha A^{(k)})S_k \quad (19)$$

Таким образом на верхней поверхности k -го слоя, имеем

$$S_{k-1} = \Omega_{z_k}^{z_{k-1}}(\alpha A^{(k)})S_k \quad (k = 3, 2, 1) \quad (20)$$

Последовательно применяя эту формулу для каждого слоя, имеем

$$\begin{aligned} S_2 &= \Omega_{z_3}^{z_2}(\alpha A^{(3)})S_3 \\ S_1 &= \Omega_{z_2}^{z_1}(\alpha A^{(2)})S_2 \\ S_0 &= \Omega_{z_1}^0(\alpha A^{(1)})S_1 \end{aligned} \quad (21)$$

Тут символом S_0 обозначено значение матрицы-столбца $S^{(1)}$ при $z=0$ т.е. на поверхности слоистого тела, а S_3 – при $z=z_3=h$, т.е. снизу пакета слоев.

Из соотношения (19), (21) видно, что решение системы (9) обеспечивает автоматическое удовлетворение граничных условий (14) в зонах контактов трех верхних слоев. Теперь перейдем к удовлетворению остальных краевых условий.

Напряжение и смещение в третьем слое в зоне контакта с полупространством определяется через матрицу S_3 . Последние должны обеспечивать удовлетворение граничных условий (7), из которых следует требование (15). Т.е. элементы 2-й, 3-й и 4-

й строк матриц S_3 и $S^{(4)}|_{z=h}$ (см. (18)) должны совпадать.

Элементы же первой строки определяет перемещения u_r (соответствующая формула из (10)). Они могут быть и не равными друг другу, т.к. при гладком контакте возможен относительный сдвиг слоев. Поэтому элемент первой строки можно считать пока неопределенным и обозначим его символом $C_3 = C_3(\alpha)$.

Таким образом:

$$S_3 = \begin{pmatrix} C_3 \\ -\frac{1-v_4}{G_4^+} C_1 \\ C_1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Эту матрицу-столбец удобно представить в виде

$$S_3 = M_3 C, \quad (22)$$

где

$$M_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -\frac{1-v_4}{G_4^+} \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} C_3 \\ C_1 \end{pmatrix}$$

Таким образом, M_3 – известная матрица, а C – подлежащая определению.

Кроме того предположим, что

$$S_k = M_k C, \quad (k = 3, 2, 1) \quad (23)$$

где M_k – неизвестная матрица размером 4×2 .

Подставляя соотношение (23) в (20), приходим к рекуррентной формуле для описания M_k

$$M_{k-1} = \Omega_{z_k}^{z_{k-1}} (\alpha A^{(k)}) M_k \quad (k = 3, 2, 1) \quad (24)$$

Итак, если решение системы дифференцированных уравнений (9) для каждого слоя строить по приведенной выше схеме, то все граничные условия в зонах контактов слоев будут удовлетворены автоматически. Для удовлетворения условий на поверхности упругого тела имеем две неизвестные функции параметра α , которые входят в матрицу-столбец C .

Если матрицы для всех слоев определены, то трижды применив формулу (24), найдем матрицу $M_0 = // m_{ij}^0 //$ размером 4×2 .

Тогда $S^0 = M_0 C$

И из требований на поверхности слоистой системы (13) получим простые алгебраические уравнения для описания элементов матрицы C

$$m_{31}^0 C_3 + m_{32}^0 C_1 = 1 \quad m_{41}^0 C_3 + m_{42}^0 C_1 = 0,$$

решение, которой не представляет трудности

$$C_1 = -\frac{m_{41}^0}{D}, \quad C_3 = -\frac{m_{42}^0}{D}$$

$$(D = m_{31}^0 m_{42}^0 - m_{32}^0 m_{41}^0)$$

Итак, если известен матрица системы (9) для каждого слоя, то используя приведенный выше алгоритм, можно определить элементы матриц-столбцов $S^{(k)}$, а значит определить по формулам (10) или (11) напряжения и смещения в упругом теле дорожной одежды.

Выводы:

1. Предложена методика упрощенного расчета параметров несущего слоя дорожной одежды с учетом механических свойств его материала и угла внутреннего трения.

2. Разработана методика оценки прочности контакта на сдвиг между слоями дорожной одежды в условиях обеспечения ее монолитности.

3. Применение предложенных методик позволит на стадии разработки проектов строительства и реконструкции автодорог более полно учесть характеристики материалов и точнее рассчитать параметры дорожного покрытия и повысить его прочность и долговечность.

Литература

1. Дорожній одяг не жорсткого типу, ВБН. В.2.3.–218–186–2004, Киев, УКРАвтодор, 2004.
2. Ряпухин В.Н., Арсеньева Н.А., Онищенко А.С. Особенности напряжено-деформированного состояния слоистых плит на контакте слоев (статья) // Научное издание ПНИПУ. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология 2014г. Вып. № 2.
3. Челушник И.А. Построение принципиальных расчетных схем воздействия динамической нагрузки на переходной участок жесткой и нежесткой дорожных одежд (статья) // Научное издание ПНИПУ. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология 2014г. Вып. № 3.
4. Плевако В.П., Ряпухин В.Н. Совершенствование метода расчета нежестких дорожных одежд // Вестник Харьков. Гос. Атомоб. – дор. техн. ун-та.: Харьков, 1999. – Вып. 9. – С. 51–56.
5. Гладкий А.В. Напряженно-деформированное состояние многослойных покрытий дорожных одежд. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. №6 (112) – С. 105 – 108. Луганськ 2007.
6. Плевако В.П. Напружений стан неоднорідних покриттів // Плевако В.П. Машинознавство. – 2001. – №3. – С. 24–28.

References

1. Road clothes are not rigid type, VBN. B.2.3.-218-186-2004, Kyiv, UKRAvtodor, 2004
2. Ryapukhin V.N., Arsenyeva N.A., Onishchenko A.S. Features of the stress – strain state of layered plates on the contact of layers (article) // Scientific Edition PNRPU. Transport. Transport facilities. Ecology 2014 Issue, number 2.
3. Chelushnik I.A. Construction of basic design schemes for the impact of dynamic load on the transition section of a rigid and non-rigid pavement (article) // Scientific edition PNIPIU. Transport. Transport facilities. Ecology 2014 Issue, number 3.
4. Plevako V.P., Ryapukhin V.N. Improving the method of calculation of non-rigid pavements // Vestnik Kharkov.

State Atomob.- Dor. tech. University: Kharkov, 1999. –Вур. 9. - pp. 51–56.

5. Gladky A.V. The stress – strain state of multilayer pavement coatings. Bulletin of the National Ukrainian National University of Volodymyr Dahl. №6 (112) - pp. 105 - 108. Lugansk 2007.

6. Plevako V.P. The stressed state of inhomogeneous coatings // Pleva V.P. Machine Science. - 2001. - №3.- pp. 24-28.

Slobodyanyuk M.E., Nechaev G.I.
INCREASE THE RELIABILITY OF THE BEARING LAYER OF ROAD CLOTHES

Analyzed the reasons for the low durability of roads with multilayer coating. A method is proposed for calculating the parameters of the base layer taking into account the mechanical properties and internal friction of its material.

The mechanism of interrelation of the top layers of the road surface among themselves from the point of view of a possible shift and ensuring solidity is considered. A method is proposed for calculating the contact strength between layers for shear.

Key words: road, multilayer pavements, carrier layer, the interaction of layers, strength characteristics, the calculation of parameters.

Слободянюк Максим Эдуардович – к.т.н., докторант кафедры «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Slobodyanyuk Maxim – Ph.D. Technical Sciences, doctoral candidate of the Department "Transport Systems", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Нечаев Григорий Иванович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Nechayev Grigoriy, Dr. Sci. (Eng.), professor, Head of the «Transport systems» State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Рецензент: Старченко Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор, ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана: 23.03.2019

УДК 629.4.015

СОЗДАНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ВОЗВРАЩАЮЩИХ СИЛ И МОМЕНТОВ В ОПОРАХ ТЕЛЕЖКИ ТИПА 2ТЭ116

Слащёв В.А., Додонов В.И., Черных В.В.

CREATION OF THE FIRST RETURN FORCES AND MOMENTS IN BOGIE SUPPORTS TYPE 2ТЭ116

Slashev V.A., Dodonov V.I., Chernykh V.V.

Статья посвящена актуальной теме создания начальных возвращающих сил и моментов в опоре тележки типа 2ТЭ116 без радикального изменения ее конструкции. Используемые сейчас на тепловозах 2ТЭ116 опоры кузова на тележки обеспечивают упругие угловой поворот и поперечное смещение тележки относительно главной рамы, но не имеют начальных величин, что отрицательно сказывается на устойчивости движения тележек на прямых участках пути или на пологих кривых. Это обстоятельство способствует беспокойному ходу тележек, увеличению сил взаимодействия колес с рельсами и чревато снижением уровня безопасности движения, что заставляет в ряде случаев даже ограничивать скорости движения поездов. Рассмотрена предлагаемая модернизация серийной конструкции опоры тележки, позволяющая получить силовые характеристики опоры с начальными величинами возвращающих сил и моментов. Выполнены кинематические и силовые расчеты, подтверждающие реализуемость заложенных в конструкцию принципов работы и характеристик.

Ключевые слова: тележка, опора кузова, возвращающий аппарат, шкворень, упорная проставка

Введение. Для обеспечения необходимых ходовых и динамических качеств магистрального локомотива при движении по рельсовому пути его тележки должны иметь возможность совершать угловые и поперечные отклонения относительно кузова. При этом необходимы силы и моменты, возвращающие тележку в начальное положение. В тепловозе 2ТЭ116 для этой цели используется роликовые устройства, где возвращающие силы создаются весом кузова при выкатывании цилиндрических роликов на наклонные плиты в опорах тележки. Поскольку цилиндрические ролики на наклонных плитах могут совершать только прямолинейное поступательное перемещение в направлении качения, а требуется обеспечить как угловой поворот, так и поперечное смещение, то возникает кинематическое несоответствие между действительными смещениями точек опоры, принадлежащих кузову и тележке. В конструкциях

таких роликовых опор ранее это несоответствие устранялось путем введения специальных скользящих поверхностей (скользун), что сопряжено с усложнением конструкции, эксплуатации и необходимостью восстановления трущихся поверхностей.

Оригинальное решение отмеченной проблемы найдено в конструкции опор тележки 2ТЭ116, где над роликовым аппаратом размещен блок резино-металлических элементов (рис. 1), который за счет упругой поперечной деформации резины в любом направлении не только устраняет кинематические несоответствия, но и создает возвращающие силы и моменты.

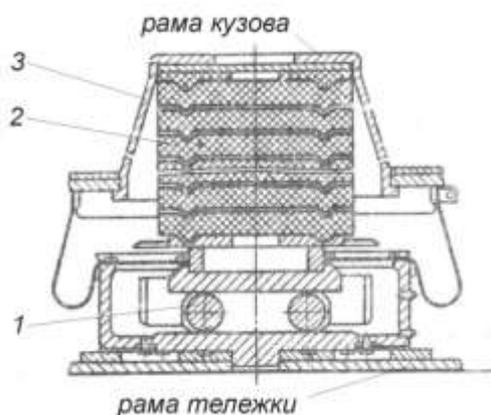


Рис. 1. Опорно-возвращающее устройство тележки
1 – роликовый возвращающий аппарат; 2 – блок резино-металлических элементов; 3 – стакан

При всем наборе положительных качеств опора тележки 2ТЭ116 не лишена одного важного недостатка – она не имеет начальных возвращающих сил и моментов определенного уровня. При малых поперечных и угловых отклонениях тележки от начального положения возвращающие силы и моменты, источником которых являются силы упругой поперечной

деформации резины, прямо пропорциональны величинам самих отклонений, т. е. первоначально вообще равны нулю. Это приводит к неустойчивому ходу тепловоза, особенно на прямых участках пути.

Анализ последних исследований и публикаций. Работа опоры, показанной на рис. 1, рассмотрена в [1–3], но там внимание акцентировалось на созданном варианте конструкции, а проблема наличия начальных возвращающих сил и моментов вообще не ставилась. В данной статье рассмотрена предлагаемая модернизация серийной конструкции опоры тележки, позволяющая получить силовые характеристики опоры с начальными величинами возвращающих сил и моментов. Выполнены кинематические и силовые расчеты, подтверждающие реализуемость заложенных в конструкцию принципов работы и характеристик.

Материалы и результаты исследования. В предлагаемом варианте опорно-возвращающего устройства отмеченный выше недостаток серийной опоры устранен за счет ликвидации возможности относительного смещения траекторий точек кузова и тележки вдоль линии качения роликов, для чего введена специальная упорная проставка 2 (рис. 2).

Форма проставки в плане выбрана такой, что препятствий смещениям тележки в направлении, поперечном качению роликов, не создает. Такая конструкция, кинематически обеспечивая работоспособность опорно-возвращающего устройства, приводит к изменению его силовых характеристик, а именно – к появлению начальных возвращающих сил и моментов, что позволяет значительно улучшить ходовые качества локомотива. К тому же, скользящие упорные поверхности между проставкой и стаканом не мешают вертикальным смещениям кузова на опорах относительно рамы тележки, позволяют ему совершать колебания на упругом элементе опоры, т. е. служить второй ступенью рессорного подвешивания.

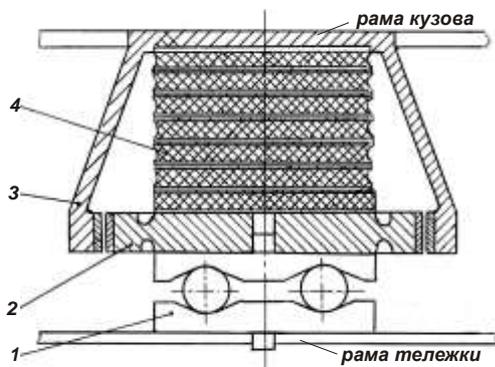


Рис. 2. Модернизированное опорно-возвращающее устройство тележки
1 – ролик; 2 – упорная проставка; 3 – стакан; 4 – блок резино-металлических элементов

Рассмотрим работу i -й опоры при угловом повороте тележки относительно кузова на угол φ (рис. 3).

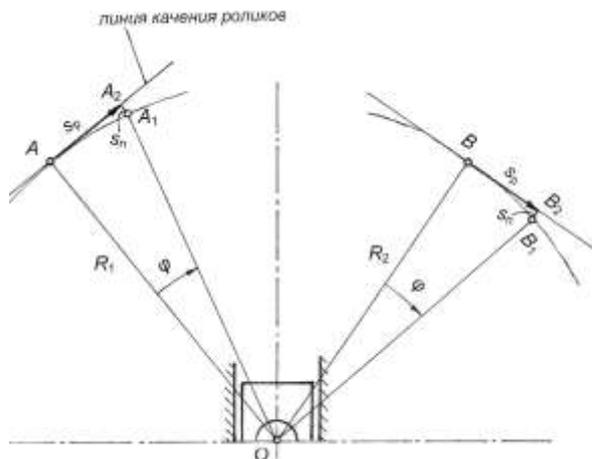


Рис. 3. Схема работы опоры при угловом повороте тележки

При этом центр опоры, принадлежащий раме тележки, переместится по окружности радиуса R_i из точки A в точку A_1 . Вектор перемещения $A-A_1$, представляющий этот путь, можно изобразить в виде суммы ортогональных векторов $A-A_2$ и A_2-A_1 , которыми представляется в этом случае траектория центра опоры, принадлежащего раме кузова.

Вектор $A-A_2$ реализуется за счет прямолинейного качения роликов по наклонным плитам, а вектор A_2-A_1 – за счет поперечной деформации упругого элемента опоры. При смене взаимных положений опорных точек, принадлежащих кузову и тележке, возникают определенные силы сопротивления, выполняющие работу W_i .

Если обозначить модуль вектора качения роликов $A-A_2$ как s_{pi} , а вектора поперечного смещения A_2-A_1 как s_{ni} , то

$$W_i = F_{pi} \cdot s_{pi} + F_{ni} \cdot s_{ni}, \quad (1)$$

где F_{pi} и F_{ni} – силы, действующие в направлении соответственно векторов s_{pi} и s_{ni} .

Сила F_{pi} есть горизонтальная составляющая от сил веса при выкатывании роликов на наклонную плоскость опорной плиты. Она равна

$$F_{pi} = P_i \cdot \text{tg} \alpha, \quad (2)$$

где P_i – сила веса, приходящаяся на опору; α – угол наклона плиты.

Сила F_{ni} есть горизонтальная сила поперечной деформации упругого элемента опоры. Ее работу на пути смещения s_{ni} можно представить как $(\tilde{n}/2)(s_{ni})^2$, где \tilde{n} – поперечная жесткость блока резино-металлических элементов.

Учитывая малость возможных фактических углов φ поворота тележки относительно кузова при движении локомотива по рельсовому пути (обычно $\varphi < 4^\circ$), можно считать, что $s_{pi} = R_i \cdot \varphi$,

а $s_{ni} = s_{pi} \cdot \varphi = R_i \cdot \varphi^2$. Таким образом,

$$W_i = F_{pi} \cdot s_{pi} + (\tilde{n}/2)(s_{ni})^2 = (P_i \cdot tg\alpha) \cdot R_i \cdot \varphi + (\tilde{n}/2)(R_i \cdot \varphi^2)^2. \quad (3)$$

Величина второго слагаемого в равенстве (3), как показывают расчеты, даже при максимальном угловом отклонении рамы тележки 4° несоизмеримо мала по сравнению с первым слагаемым, поэтому можно считать, что

$$W_i = F_{pi} \cdot s_{pi} = (P_i \cdot tg\alpha) \cdot R_i \cdot \varphi. \quad (4)$$

Работа, совершаемая всеми опорами при угловом повороте тележки W_φ является суммой работ, совершаемой каждой отдельной опорой W_i , т. е.

$$W_\varphi = \sum W_i = \varphi \cdot tg\alpha \cdot \sum (P_i \cdot R_i). \quad (5)$$

Если работу W_φ интерпретировать как $W_\varphi = M_{\dot{a}} \cdot \varphi$,

где \dot{a} – возвращающий момент опор тележки при угловом повороте ее относительно кузова, то с учетом того, что вертикальные нагрузки на все опоры одинаковы и равны D , равенства (5) и (6) преобразуются к виду $\dot{a} \cdot \varphi = \varphi \cdot tg\alpha \cdot P \cdot \sum R_i$. (7)

Разделив правую и левую части равенства (7) на φ , получаем выражение для возвращающего момента опор тележки $\dot{a} = P \cdot tg\alpha \cdot \sum R_i$. (8)

Величина возвращающего момента \dot{a} опор тележки получается постоянной, не зависящей от угла поворота φ .

Конструктивно ролики опорно-возвращающего аппарата в начальном (не отклоненном) положении тележки находятся в углах стыков рабочих поверхностей плит, а потому могут выкатываться на наклонную плиту при условии, что внешние горизонтальные силы, приложенные к ним в

направлении катания, превысят $F_{pi} = P_i \cdot tg\alpha$. До выполнения этого условия поворота тележки не будет. Этим, собственно, обеспечивается ее начальный возвращающий момент $\dot{a}_0 = \dot{a}$.

Рассмотрим работу i -й опоры при поперечном смещении тележки относительно кузова на величину y (рис. 4). При этом центр опоры, принадлежащий раме тележки, переместится из точки A в точку A_1 . Вектор перемещения $A-A_1$, представляющий это смещение, можно изобразить в виде суммы ортогональных векторов $A-A_2$ и A_2-A_1 , которыми представляется в этом случае траектория центра опоры, принадлежащего раме кузова.

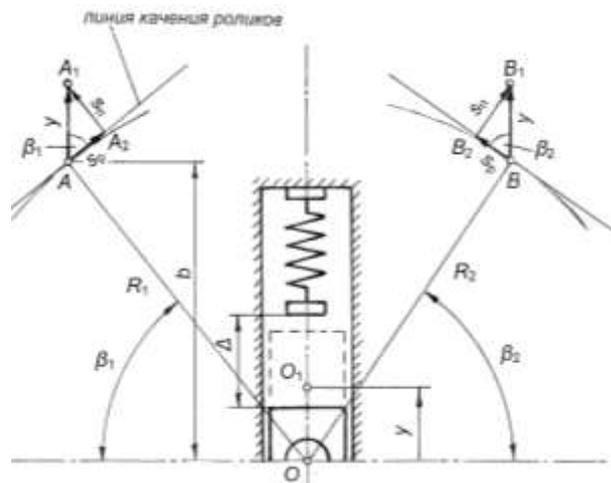


Рис. 4. Схема работы опоры при поперечном смещении тележки

Вектор $A-A_2$ реализуется за счет прямолинейного качения роликов по наклонным плитам, а вектор A_2-A_1 – за счет поперечной деформации упругого элемента опоры. При взаимном перемещении положений опорных точек, принадлежащих кузову и тележке, возникают определенные силы сопротивления, выполняющие работу W_i .

Если обозначить модуль вектора качения роликов $A-A_2$ как s_{pi} , а вектора поперечного смещения A_2-A_1 как s_{ni} , то

$$W_i = F_{pi} \cdot s_{pi} + F_{ni} \cdot s_{ni}, \quad (9)$$

где F_{pi} и F_{ni} – силы, действующие в направлении соответственно векторов s_{pi} и s_{ni} .

Модули векторов s_{pi} и s_{ni} связаны с поперечным перемещением тележки относительно кузова y (см. рис. 4) следующими соотношениями

$$s_{pi} = y \cdot \cos \beta_i \quad \text{и} \quad s_{ni} = y \cdot \sin \beta_i, \quad (10)$$

Сила F_{pi} есть горизонтальная составляющая от сил веса при выкатывании роликов на наклонную плоскость опорной плиты. Ее величина определяется равенством (2).

Сила F_{ni} есть горизонтальная сила поперечной деформации упругого элемента. Ее работу на пути смещения s_{ni} можно представить как $(\tilde{n}/2)(s_{ni})^2$, где \tilde{n} – поперечная жесткость блока резино-металлических элементов. Таким образом,

$$W_i = F_{pi} \cdot s_{pi} + (c/2)(s_{ni})^2 = (P_i \cdot tg\alpha) \cdot y \cdot \cos \beta_i + (c/2)(y \cdot \sin \beta_i)^2. \quad (11)$$

Работа, совершаемая всеми опорами при поперечном смещении тележки относительно кузова W_y является суммой работ, совершаемой каждой отдельной опорой W_i , т. е.

$$W_y = \sum W_i = y \left(tg\alpha \cdot \sum (P_i \cdot \cos \beta_i) + (c/2)y \sum (\sin \beta_i)^2 \right). \quad (12)$$

Работу W_y можно интерпретировать как

$$W_y = Y_a \cdot y, \quad (13)$$

где Y_a – возвращающая сила опор тележки при поперечном смещении ее относительно кузова.

С учетом того, что вертикальные нагрузки на все опоры одинаковы и равны P , равенства (12) и (13) преобразуются к виду

$$Y_a \cdot y = y \cdot \left(P \cdot tg\alpha \cdot \sum \cos \beta_i + (c/2)y^2 \sum (\sin \beta_i)^2 \right). \quad (14)$$

Откуда, разделив правую и левую части равенства (13) на y , получаем выражение для возвращающей силы тележки, создаваемой опорами

$$Y_a = P \cdot tg\alpha \cdot \sum \cos \beta_i + (c/2)y \sum (\sin \beta_i)^2. \quad (15)$$

Как видим, величина возвращающей силы тележки Y_a , создаваемой опорами, в начальный момент поперечного смещения, т. е. при $y = 0$, получается постоянной и равной

$$Y_{a0} = P \cdot tg\alpha \cdot \sum \cos \beta_i. \quad (16)$$

Конструктивно ролики опорно-возвращающего аппарата в начальном (не отклоненном) положении тележки находятся в углах стыков рабочих поверхностей плит, а потому могут выкатываться на наклонную плиту при условии, что внешние

горизонтальные силы, приложенные к ним в направлении качения, превысят $F_{pi} = P \cdot tg\alpha \cdot \sum \cos \beta_i$. До выполнения этого условия поперечного смещения тележки не будет. Этим, собственно, обеспечивается ее начальная возвращающая сила Y_{a0} .

В шкворневом аппарате тележки тепловоза 2ТЭ116 при поперечном перемещении ее относительно кузова на величину, большую зазора величиной $\Delta = 20$ мм, предусмотрено включение упругих упоров, создающих дополнительную возвращающую силу (см. рис. 4). В таком случае общая поперечная возвращающая сила тележки Y_{em} будет равна сумме сил

$$Y_{em} = Y_a + Y_u, \quad (17)$$

где Y_a – возвращающая сила, создаваемая опорами тележки; Y_u – возвращающая сила, создаваемая упругими упорами шкворневого аппарата, величина которой равна

$$Y_u = \mathcal{J}_{uy} \cdot (y - \Delta), \quad (17)$$

где \mathcal{J}_{uy} – жесткость упругого шкворневого упора; y – поперечное смещение тележки относительно кузова.

Расчет силовых характеристик предлагаемого опорно-возвращающего устройства применительно к конкретным параметрам и условиям работы опор тележки 2ТЭ116 выполнен при таких исходных данных:

- нагрузка на одну опору $P = 108572$ Н;
- радиусы установки опор

$$R_1 = 1,628 \text{ м}; R_2 = 1,232 \text{ м};$$

- угол наклона роликовых плит $\alpha = 2^\circ$;
- поперечный зазор в шкворневом аппарате

$$\Delta = 0,02 \text{ м};$$

- поперечная жесткость блока резино-металлических элементов $\tilde{n} = 0,2 \cdot 10^6$ Н/м;
- жесткость упругого упора шкворневого аппарата $\mathcal{J}_{uy} = 3,237 \cdot 10^6$ Н/м;
- величины $\cos \beta_1 = 0,7553$; $\cos \beta_2 = 0,4999$;
- $\sin \beta_1 = 0,6554$; $\sin \beta_2 = 0,8661$ (см. рис. 4).

Начальный возвращающий момент при угловом повороте тележки получается $M_{a0} = 21687$ Н·м.

Начальная возвращающая сила опор при поперечном смещении тележки относительно кузова – $Y_{a0} = 9518$ Н.

Расчетные графики силовых характеристик модернизированного опорно-возвращающего устройства представлены на рис. 5. (сплошные линии).

Начальная возвращающая сила опор при поперечном смещении тележки относительно кузова – $Y_{a0} = 9518$ Н.

Расчетные графики силовых характеристик модернизированного опорно-возвращающего устройства представлены на рис. 5. (сплошные линии).

Силловые характеристики серийных опорно-возвращающих устройств тележки тепловоза 2ТЭ116 представлены пунктирными линиями.

Выводы. 1. Выполненные исследования подтверждают возможность создания опорно-возвращающего устройства роликового типа с начальными возвращающимися силами и моментами.

2. Применение такого устройства на тележках тепловоза 2ТЭ116 позволяет заметно повысить устойчивость их движения на прямых и пологих кривых рельсового пути, улучшить тем самым ходовые и динамические показатели тепловоза.

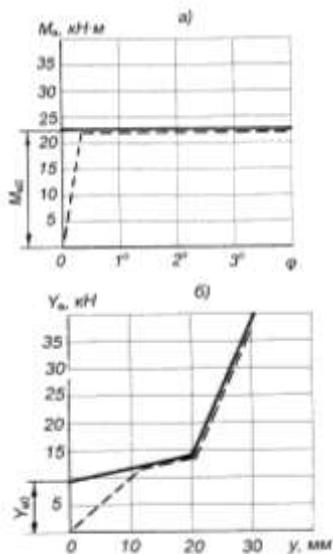


Рис. 5. Силловые характеристики предлагаемого опорно-возвращающего устройства

- а) возвращающий момент тележки
б) возвращающая поперечная сила тележки

3. В модернизированном таким образом опорно-возвращающем устройстве вместо блока резино-металлических элементов можно использовать пневматические рессоры оболочкового типа. В таком случае в дополнение к новым силловым характеристикам опоры реально получить полноценную вторую ступень рессорного подвешивания со статической осадкой до 200 мм вместо 25 мм, которая реализуется на серийных опорах.

Л и т е р а т у р а

1. Механическая часть тягового подвижного состава / Под ред. И. В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.
2. Тепловоз 2ТЭ116 / С. П. Филонов, А. И. Гибалов, Е. Н. Никитин [и др.]. – М.: Транспорт, 1996. – 334 с.
3. Теория и конструкция локомотивов / Под ред. Г. С. Михальченко. – М.: Маршрут, 2006. – 584 с.

References

1. Mekhanicheskaya chast' tyagovogo podvizhnogo sostava / Pod red. I.V.Biryukova. – M.: Transport, 1992. – 440 p.

2. Teplovoz V2TЭ116 / S.P. Filonov, A.I. Gibalov, E.N. Nikitin [i dr.]. – M.: Transport, 1996. – 334 p.

3. Teoriya i konstruktziya lokomotivov / Pod red. G.S. Mikhal'chenko. – M.: Marshrut, 2006. – 584 p.

Slashev V.A., Dodonov V.I., Chernykh V.V. CREATION OF THE FIRST RETURN FORCES AND MOMENTS IN BOGIE SUPPORTS TYPE 2TЭ116

The article is devoted to the actual topic of creation of the first return forces and moments in bogie supports type 2TЭ116 without radical change of its construction. Supports using now in bogie type 2TЭ116 are provide with resilient angle turning and cross displacement of bogie concerning the main frame, but its have not first value that negative act to stability of moving bogies on the railway straight parts. This factor promote uneasy move of bogies, increase of interaction forces between wheels and rails and menace of decrease of safety move level. It is consider a version of modernization the serial construction bogie support that permit to receive a force characteristics support with first value return forces and moments. Cinematic and force calculations which confirm a practicable of propose principles of work and characteristics are made.

Key words: bogie, body support, roll return apparatus, block of rubber-metal elements, pivot, stop plank

Сласев Владимир Андреевич, к.т.н., профессор кафедры железнодорожного транспорта, ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: vaslashev@yandex.ru

Slashev Vladimir, Cand. Eng. Scien., professor, Professor of the Railway Transport Department of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: vaslashev@yandex.ru

Додонов Валерий Иванович, старший преподаватель кафедры железнодорожного транспорта, ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: vaslashev@yandex.ru

Dodonov Valeriy, senior lecturer of the Railway Transport Department of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: vaslashev@yandex.ru

Черных Виктория Валерьевна, старший преподаватель кафедры информационных и управляющих систем, ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: vitaska88@gmail.com

Chernykh Viktoria, senior lecturer of the Information and control systems Department of Lugansk National University named after Vladimir Dahl.

E-mail: vitaska88@gmail.com

Рецензент: Старченко Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор, ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана: 23.03.2019

УДК 629.113.004

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ДВС**

Сметана С.А., Сидорченко А.В.

**TECHNOLOGICAL IMPLEMENTATION OF THE PROCESS
OF DIAGNOSING THE MECHANISMS OF ICE**

Smetana S.A., Sidorchenko A.V.

Изложены результаты технологической реализации диагностической модели технического состояния механизмов ДВС по параметрам газодинамических процессов рабочего цикла.

Ключевые слова: процесс диагностирования, техническое состояние ДВС, диагностический параметр, средства диагностирования.

Введение. Эффективность - комплексная оценка метода диагностирования - определяет снижение трудоемкости при оптимизации алгоритма поиска и устранения неисправности.

Особенность методов локализации заключается в том, что поиск неисправностей ведется не после наступления отказа, а в его предположении. Поэтому алгоритмизация поиска базируется на логике и вероятностной основе с учетом функциональных связей между параметрами.

Логическая алгоритмизация поиска основана на использовании структурно-следственных связей с жестко заданными параметрами диагностирования. Процесс постановки диагноза технического состояния заключается в логической обработке некоторой объективно существующей информации, поступающей от работающих агрегатов в определенный отрезок времени. Эта информация поступает в виде системы внешних признаков, измеренных диагностических параметров, прямо или косвенно характеризующих состояние автомобиля [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. Постановка диагноза для сложных технических систем, которой является ДВС, как правило, ставится не по одному, а по нескольким диагностическим параметрам. Определение диагностических параметров проводят в заданном скоростном, нагрузочном и других заданных режимах. Упрощенная схема процесса диагностирования показана на рис. 1.

Как показано на рис. 1, из объекта диагностирования, выведенного на заданный режим,

с помощью специального датчика (манометра – вакуумметра, электромагнитного типа или от пьезодатчика - рис. 4) принимается сигнал, который отображает диагностический параметр P , который характеризует, в свою очередь, значение одного или нескольких структурных параметра S .



Рис.1. Схема процесса диагностирования

От датчика сигнал в трансформируемом виде P' поступает к измерительному устройству, потом количественное значение одного диагностического параметра P или нескольких диагностических параметров P_1, \dots, P_n выдает устройство отображения данных (персональный компьютер с соответствующим ПО) и диагноз устанавливается уже по комплексу признаков, что сводится к проверке гипотезы о состоянии объекта, которое выражается двумя диагнозами: $D1$ - объект исправен, $D2$ - объект неисправен [3, 4].

Материалы и результаты исследования. Данный подход позволяет оценить состояние цилиндро-поршневой группы и газораспределительного механизма ДВС. По фазовым сдвигам, форме и амплитудным значениям кривой пульсирующего разрежения (в идеале это сигнал синусоидальной формы рис. 2), можно судить о состоянии привода распределительного вала (ремень, цепь), зазорах и герметичности клапанов, наличии отложений и нагара на клапанах.

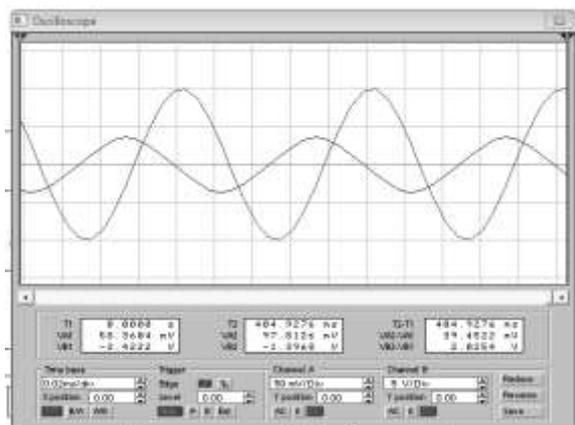


Рис. 2. Зависимость пульсаций разряжения P во впускном коллекторе от циклов работы ДВС

Суть метода основана на том, что с помощью специальных датчиков (рис. 4, 5, 6) при использовании многоканального цифрового осциллографа на базе ПК (рис. 3) мы имеем возможность анализировать пульсации разряжения во впускном трубопроводе.

При этом мы можем засинхронизировать сигнал от индуктивного датчика, установленного на высоковольтный провод свечи первого цилиндра бензинового двигателя или от пьезодатчика, установленного на топливопроводе форсунки первого цилиндра дизельного двигателя (рис. 6).



Рис. 3. Внешний вид цифрового осциллографа на базе ПК

Таким образом, можно сделать вывод о принадлежности определенной аномалии конкретному цилиндру.



Рис. 4. Внешний вид датчика разряжения

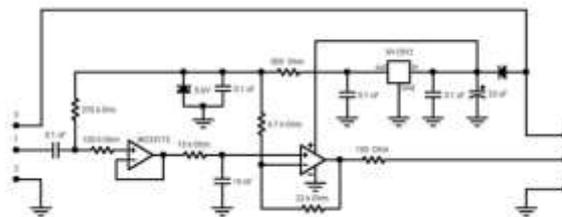


Рис. 5. Схема подключения датчика разряжения к цифровому осциллографу



Рис. 6. Внешний вид пьезодатчика синхронизации

Выпуск отработавших газов из цилиндра четырёхтактного двигателя осуществляется через канал, открывающийся при помощи выпускного клапана и соединяющий таким образом внутренний объём цилиндра с выпускным коллектором двигателя. Перетекание отработавших газов из цилиндра в выпускной коллектор происходит за счёт "выталкивания" газов из цилиндра поршнем, который во время такта выпуска движется по направлению к головке блока цилиндров. Поступление новой порции топливовоздушной смеси в цилиндр двигателя осуществляется через канал, открывающийся при помощи впускного клапана и соединяющий таким образом внутренний объём впускного коллектора двигателя с внутренним объёмом цилиндра. Перетекание топливовоздушной смеси из впускного коллектора в цилиндр происходит за счёт "засасывания" газов из впускного коллектора поршнем, который во время такта впуска движется по направлению от головки блока цилиндров и создаёт в цилиндре разрежение.

Для многих двигателей, фаза впуска топливовоздушной смеси начинается ещё до того, как закончится фаза выпуска отработавших газов. То есть, кратковременно, оба клапана одного и того же цилиндра – и выпускной и впускной – находятся в приоткрытом состоянии. Временной промежуток между моментом открытия впускного клапана и моментом закрытия выпускного клапана называется фазой перекрытия клапанов. Начало и конец фазы перекрытия клапанов находят своё отражение на графике пульсаций разрежения во впускном

коллекторе в виде характерных точек и участков графика.

Предлагаемая методика основана на их обнаружении и измерении их взаимного положения.

За счёт того, что начало и конец фазы перекрытия клапанов всех цилиндров двигателя определённым образом отражаются на графике пульсаций разрежения во впускном коллекторе, по характерным точкам этого графика можно обнаружить моменты начала открытия впускных клапанов и моменты закрытия выпускных клапанов.

Начало фазы перекрытия клапанов и её окончание отражается так же и на графике давления в цилиндре – но только для того цилиндра, график давления в котором исследуется при помощи датчика пульсаций разрежения P_x (рис. 7).

Такт выпуска. Во время такта выпуска поршень движется по направлению к головке блока цилиндров, но за счёт того, что при этом выпускной клапан открыт, отработавшие газы в цилиндре не сжимаются, а "выталкиваются" из цилиндра через открытый выпускной клапан в выпускной коллектор, далее в выпускную систему и в атмосферу. Поэтому, во время такта выпуска, величина давления внутри цилиндра близка к величине атмосферного давления и превышает его на $0,1 \dots 0,3$ Bar при работе двигателя на оборотах холостого хода без нагрузки.

Такт впуска. Во время такта впуска поршень движется по направлению от головки блока цилиндров, и за счёт того, что при этом впускной клапан открыт, происходит "всасывание" топливовоздушной смеси из впускного коллектора через открытый впускной клапан в цилиндр. Но при работе двигателя на холостом ходу, дроссельная заслонка и клапан холостого хода почти закрыты и создают значительную преграду для притока воздуха от воздушного фильтра во впускной коллектор.

Поэтому газы во впускном коллекторе и, соответственно в сообщающемся с ним через открытый впускной клапан цилиндре, сильно разрежаются – величина давления внутри впускного коллектора и внутри цилиндра оказывается значительно меньшей величины атмосферного давления (*то есть, возникает разрежение*).

Таким образом, во время такта впуска величина давления внутри цилиндра значительно меньше величины атмосферного давления. В середине такта впуска разрежение во впускном коллекторе возрастает до максимума (*давление падает до минимума*).

Начало фазы перекрытия клапанов. Как во время такта выпуска, так и непосредственно перед началом фазы перекрытия клапанов, давление внутри цилиндра близко к атмосферному потому, что сообщение между внутренним объёмом цилиндра и атмосферой всё ещё присутствует через ещё не закрывшийся выпускной клапан, выпускной

коллектор и выпускную систему. В начале фазы перекрытия клапанов начинает открываться впускной клапан, и за счёт этого, возникает сообщение между внутренним объёмом цилиндра и внутренним объёмом впускного коллектора.

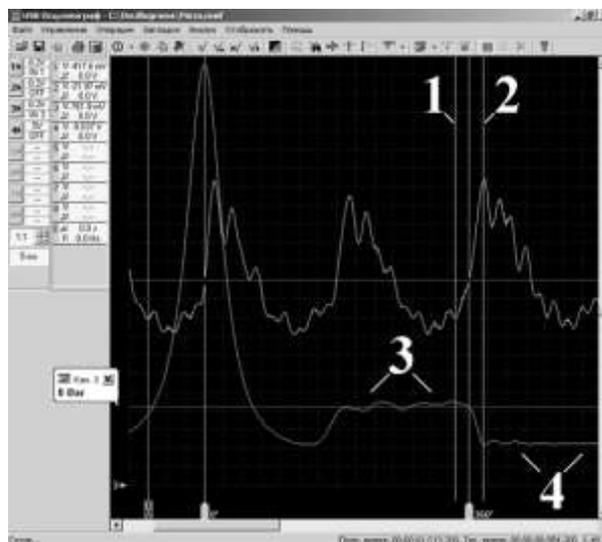


Рис. 7. График пульсаций разрежения во впускном коллекторе работающего двигателя (показан **зелёным** цветом) и давления в одном из цилиндров (показан **синим** цветом).

1 – Момент открытия впускного клапана цилиндра, график давления в котором показан синим цветом. 2 – Момент закрытия выпускного клапана цилиндра, график давления в котором показан синим цветом. 3 – Такт выпуска отработавших газов из цилиндра, график давления в котором показан синим цветом. 4 – Такт впуска свежей порции топливовоздушной смеси в цилиндр, график давления в котором показан синим цветом. 360 – Точка ВМТ 360 цилиндра, график давления в котором показан синим цветом

Как было рассмотрено выше, в начале фазы перекрытия клапанов – когда начинает открываться впускной клапан, а выпускной клапан всё ещё открыт – давление внутри цилиндра близко к атмосферному, а давление во впускном коллекторе значительно меньше атмосферного давления (*или, другими словами, во впускном коллекторе разрежение*). А так как при этом впускной клапан открывает канал, создающий сообщение между внутренним объёмом цилиндра и внутренним объёмом впускного коллектора, газы из цилиндра начинают перетекать во впускной коллектор.

За счёт начала поступления газов из цилиндра во впускной коллектор, начиная с момента открытия впускного клапана, разрежение внутри впускного коллектора начинает уменьшаться (*давление начинает увеличиваться*). Момент начала падения разрежения во впускном коллекторе отмечен на иллюстрации маркером "1".

Участок между началом фазы перекрытия клапанов и точкой ВМТ 360. Как видно по графику

давления в цилиндре (*график синего цвета*), за счёт возникшего оттока газов из цилиндра во впускной коллектор, давление внутри цилиндра начинает несколько снижаться. Но величина этого снижения давления внутри цилиндра с момента начала фазы перекрытия клапанов и до точки ВМТ 360 незначительна по следующим причинам:

- поршень по-прежнему движется по направлению к головке блока цилиндров, уменьшая за счёт этого величину внутреннего объёма цилиндра; это уменьшение величины внутреннего объёма цилиндра несколько компенсирует падение давления газов внутри цилиндра, возникающее из-за утечки газов во впускной коллектор;

- выпускной клапан всё ещё открыт, и внутренний объём цилиндра за счёт этого продолжает сообщаться с выпускным коллектором, где давление близко к атмосферному; поэтому, падение давления газов внутри цилиндра, из-за их утечки во впускной коллектор, компенсируется за счёт "подсоса" газов в цилиндр из выпускного коллектора.

Вследствие "подсоса" газов из цилиндра во впускной коллектор, давление газов внутри выпускного коллектора непрерывно возрастает (*разрежение падает*).

Точка ВМТ 360. Как видно из приведённой иллюстрации, положение точек пересечения передних фронтов графика пульсаций разрежения во впускном коллекторе (*график зелёного цвета*) с нулевой линией графика (*с линией, отмечающей уровень смещения сигнала по постоянному напряжению*) по времени может совпадать или приближаться к моменту, когда поршень цилиндра (*график давления в котором показан на иллюстрации синим цветом*) находится в положении ВМТ 360 (*конец такта выпуска и начало такта впуска*). Это позволяет принимать точки пересечения переднего фронта графика пульсаций разрежения во впускном коллекторе с нулевой линией графика за моменты, когда поршни двигателя находятся в положении ВМТ 360. Положение этих точек на графике с приемлемой точностью совпадает с моментами, когда поршни двигателя находятся в положении ВМТ 360.

Участок между точкой ВМТ 360 и концом фазы перекрытия клапанов. Заметное снижение давления внутри цилиндра (нарастание разрежения) начинается с точки ВМТ 360 и продолжается до конца фазы перекрытия клапанов. Это происходит по следующим причинам:

- выпускной клапан закрывается, и величина притока газов из выпускного коллектора в цилиндр из-за этого всё более ограничивается;

- поршень изменил своё направление движения на противоположное – теперь он движется по направлению от головки блока цилиндров и величина внутреннего объёма цилиндра увеличивается; из-за этого увеличения величины внутреннего объёма цилиндра газы внутри

цилиндра разрежаются (*давление газов внутри цилиндра уменьшается*);

- впускной клапан продолжает открываться, сообщение внутреннего объёма цилиндра с внутренним объёмом впускного коллектора улучшается, а так как газы во впускном коллекторе значительно более разрежены нежели в цилиндре, процесс перетекания газов из цилиндра во впускной коллектор продолжается. Процесс перетекания газов из выпускного коллектора в цилиндр, а из цилиндра во впускной коллектор продолжается вплоть до самого конца фазы перекрытия клапанов (*до момента полного закрытия выпускного клапана*).

Из-за постоянного притока газов из выпускного коллектора в цилиндр а оттуда во впускной коллектор, давление внутри впускного коллектора продолжает повышаться (*разрежение продолжает уменьшаться*). Уменьшение разрежения во впускном коллекторе продолжается до момента полного закрытия выпускного клапана.

Конец фазы перекрытия клапанов. Только начиная с момента закрытия выпускного клапана, процесс "подсоса" газов во впускной коллектор из выпускного коллектора через приоткрытый выпускной клапан => внутренний объём цилиндра => приоткрытый впускной клапан-прекращается.

Поршень при этом продолжает двигаться по направлению от головки блока цилиндров, увеличивая таким образом величину внутреннего объёма цилиндра. Увеличение внутреннего объёма цилиндра приводит к некоторому падению давления внутри цилиндра, которое компенсируется за счёт "засасывания" газов в цилиндр из выпускного коллектора.

Таким образом, в момент закрытия выпускного клапана (*в конце фазы перекрытия клапанов*) приток газов во впускной коллектор из цилиндра прекращается и начинается отток газов из выпускного коллектора в цилиндр. За счёт возникновения оттока газов из выпускного коллектора в цилиндр, давление внутри впускного коллектора начинает уменьшаться (разрежение внутри впускного коллектора начинает нарастать). Момент начала увеличения разрежения во впускном коллекторе (*график зелёного цвета*) отмечен на иллюстрации маркером "2".

Выводы. К особенностям данного метода можно отнести:

1. Зависимость формы получаемого графика от конструктивных особенностей диагностируемого ДВС и конструкции впускного коллектора.

2. Зависимость формы получаемого графика от метода соединения датчика с внутренним объёмом впускного коллектора (величина поперечного сечения вакуумного патрубка и его длина).

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 23435-79 Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Номенклатура диагностических параметров.

2. ГОСТ 22520-85 ГСИ. Датчики давления, разрежения и разности давлений с электрическими аналоговыми выходными сигналами.

3. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. М.: Колос, 1967. - 159 с.

4. Ахметзянов И.Р. Измерительная аппаратура для исследования двигателя внутреннего сгорания // Новая наука: современное состояние и пути развития/ Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции. в 4 ч. Ч.3 - Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2016. – С. 4-8.

References

1. GOST 23435-79 Technical diagnostics. Internal combustion engines. Nomenclature of diagnostic parameters.

2. GOST 22520-85 GSI. Pressure, vacuum and differential pressure sensors with electrical analogue output signals.

3. Vedenyapin, GV. General methods of experimental research and processing of experimental data. М.: Kolos, 1967. - 159 p.

4. Akhmetzyanov I.R. Measuring equipment for the study of the internal combustion engine // New science: current state and ways of development / International scientific periodical on the basis of the International scientific-practical conference. in 4 hours. Part 3 - Sterlitamak: RIC AMI, 2016. - p. 4-8.

Smetana S.A., Sidorchenko A.V.
TECHNOLOGICAL IMPLEMENTATION OF THE PROCESS OF DIAGNOSING THE MECHANISMS OF ICE

The results of the technological implementation of the diagnostic model of the technical state of the mechanisms of the internal combustion engine in terms of the parameters of gas-dynamic processes of the working cycle are presented.

Key words: *diagnostic process, technical condition of the internal combustion engine, diagnostic parameter, diagnostic tools.*

Сметана Сергей Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Промышленный и городской транспорт», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Smetana Sergey Aleksandrovich, Cand. tech. Sciences, Assoc. Department "Industrial and urban transport" State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Сидорченко Александр Владимирович, магистр, старший преподаватель кафедры «Промышленный и городской транспорт», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Sidorchenko Alexander Vladimirovich, Master, Senior Lecturer of the Department "Industrial and urban transport", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Транспортные системы» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля»

Статья подана 12.03.2019.

УДК 629.113.004

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ ДВС

Сметана С.А., Сидорченко А.В., Колбас Н.В.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF DIAGNOSTIC MODEL OF TECHNICAL CONDITION OF ICE MECHANISMS

Smetana S.A., Sidorchenko A.V., Kolbas N.V.

Изложены результаты анализа системного подхода в решении диагностических задач с целью создания диагностической модели технического состояния механизмов ДВС по выборочным параметрам газодинамических процессов рабочего цикла.

Ключевые слова: диагностика, процесс диагностирования, техническое состояние ДВС, диагностический параметр, структурная схема, математическая модель.

Введение. Диагностирование автомобиля в целом, его систем и сборочных единиц должно проводиться в определенной последовательности.

Последовательный принцип поиска неисправностей, одновременно устанавливающий и номенклатуру диагностических параметров, реализуется несколькими способами [1]:

1. От начала структурной схемы объекта к ее концу.

2. По убывающей вероятности - от более вероятной причины к менее вероятной. Способ применяется при известных вероятностях возникновения конкретных неисправностей.

3. По возрастающей трудоемкости - от менее трудоемкого определения причин к более трудоемкому.

4. От более вероятных и менее трудоемких к менее вероятным и более трудоемким. Это обобщающий принцип, предусматривающий алгоритмизацию в соответствии с неравенством:

$$\frac{\tau_1}{1-P_1} \leq \frac{\tau_2}{1-P_2} \leq \dots \leq \frac{\tau_n}{1-P_n}$$

где τ_i – затраты связанные с проведением диагностирования по i -тому параметру; P_i – вероятность возникновения неисправности, соответствующей i -тому параметру.

Предлагаемая последовательность позволяет уменьшать трудоемкость выявления неисправностей

и прогнозирования работоспособности машины, то есть при ее общем диагностировании измеряются параметры, характеризующие техническое состояние отдельных систем и сборочных единиц.

Анализ последних исследований и публикаций. При определении технического состояния ДВС выбор параметров диагностирования является важнейшей задачей. Здесь следует учитывать различные взаимосвязи между структурными и функциональными параметрами, используемые для целей диагностирования [2].

С этой целью строят структурно-следственные схемы сборочной единицы или системы, увязывающую в единое целое основные элементы диагностируемого объекта, характеризующие их структурные параметры, перечень характерных неисправностей и параметры диагностирования (рис. 1, 2).



Рис. 1. Структурно-наследственная диагностическая модель цилиндра-поршневой группы двигателя



Рис. 2. Структурно-наследственная диагностическая модель газораспределительной группы двигателя

Экспериментальные зависимости (априорной информации с добавлением результатов ситуационных и тестовых испытаний) перечисленных параметров диагностирования приведены на рис. 3, 4 [2, 3].

Материалы и результаты исследования. Циклический (тактируемый) рабочий процесс ДВС позволяет предложить математическую модель системы вентиляции картера построенной на взаимосвязях газодинамических параметров.

Модель создается на основе инженерных знаний о конструкции, ее функционировании, на основе статистического анализа неисправностей, отказов и диагностических параметров объекта [4].

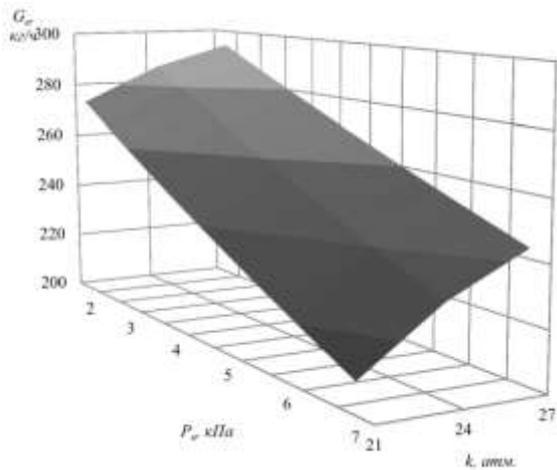


Рис. 3. Зависимость часового расхода воздуха G_b , кг/ч от разряжения во впускном коллекторе P_b , кПа при различных компрессиях k , атм.

Основным уравнением математической модели является уравнение объемного баланса, представляющее собой одну из форм первого закона термодинамики для закрытых систем и дополненное слагаемыми, учитывающими перетекание газов из рабочих камер (надпоршневых пространств) в полости картера и перетекания газа через сапун.

$$p'_n = \frac{kT_n}{V_n} (-V'_n - V'_c + V'_n) \quad (1)$$

где p_k - давление в картере, k - показатель адиабатного процесса для картерных газов; V'_k - объем газа в картере; V'_c - объем газа, вытекающего из картера через сапун; V'_y - объем газа, прорывающегося из цилиндров двигателя в картер.

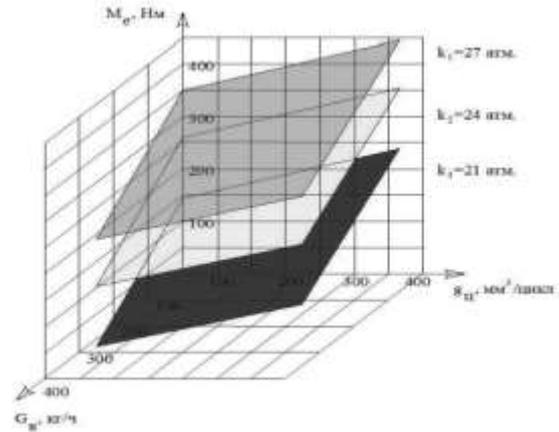


Рис. 4 Зависимость крутящего момента M_e от цикловой подачи $g_{ц}$, мм³/цикл топлива и расхода воздуха G_b , кг/ч при различных компрессиях k

Объем картера в любой момент времени может быть определен, если известен угол поворота коленчатого вала. Для двигателя с одинаковой геометрией кривошипно-шатунных механизмов (КШМ) объем картера можно вычислить по уравнениям:

$$V_k = V_{k0} + \sum_{i=1}^z \frac{V_i}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{\lambda} \cdot \cos \varphi_i - \frac{1}{\lambda} \cdot \cos \beta_i \right) \quad (2)$$

$$\beta = \arctg \cdot \left(\frac{\sin \varphi \cdot \lambda}{\sqrt{1 - (\sin \varphi)^2 \cdot \lambda^2}} \right) \quad (3)$$

где V_{k0} - объем свободных полостей картера в момент, соответствующий положению кривошипа первого цилиндра в ВМТ; Vh - рабочий объем цилиндра; λ - постоянная КШМ (отношение радиуса кривошипа к длине шатуна); φ - угол поворота кривошипа относительно ВМТ; β - угол наклона шатуна к оси цилиндра; z - число цилиндров.

Было принято, что угол поворота коленчатого вала совпадает с углом кривошипа первого цилиндра, т.е. $\varphi = \varphi_1$.

Скорость и расход газа при перетекании его через сапун в атмосферу рассчитывается в соответствии с режимом истечения, который определяется отношением давлений в сапуне βc . Если в текущий момент времени давление в картере больше чем в атмосфере, то $\beta c = p_k / p_a$, в противном случае - $\beta c = p_a / p_k$.

Как известно, режим истечения определяется величиной отношений давлений. Если $\beta c > \beta_{кр}$, режим истечения докритический, иначе - критический. Критическое отношение давлений

$\beta_{кр}$ зависит только от атомности газов рассчитывается по уравнению

$$\beta_{кр} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}. \quad (4)$$

Считая картерный газ смесью двухатомных газов было принято $k = 1,4$ и $\beta_{кр} = 0,528$.

При известной скорости истечения, объемный расход может быть найден как

$$c_k = \begin{cases} \sqrt{k p_k v_k} & \text{при } p_k > p_a \\ \sqrt{k p_a v_a} & \text{при } p_a > p_k \end{cases}, \quad (5)$$

где f_c - площадь проходного сечения сапуна.

При необходимости, можно рассчитать массовый расход картерного газа G_k .

$$G_k = \begin{cases} f_c c_k & \text{при } p_k > p_a \\ \frac{f_c c_k}{v_a} & \text{при } p_a > p_k \end{cases}. \quad (6)$$

Если пренебречь внутрицикловым изменением температуры картерных газов, считая ее постоянной, а также изменением состава газа, полагая его термодинамические свойства (показатель адиабаты и газовую постоянную) идентичными свойства воздуха, то расчет $V'_ц$ выполняется по формуле:

$$V'_ц = G_k(\varphi) \frac{RT_k}{p_k}, \quad (7)$$

где $G_k(\varphi)$ - зависимость расхода утечек от угла поворота коленчатого вала; R - газовая постоянная; T_k - температура газов в картере; p_k - давление в картере.

Расчетная зависимость расхода картерных газов (рис. 5) подтверждает теоретическое представление модели в плане соответствия диагностируемого параметра критериям чувствительности, однозначности и локализации, а также адекватного отображения динамики изменения газового фона.

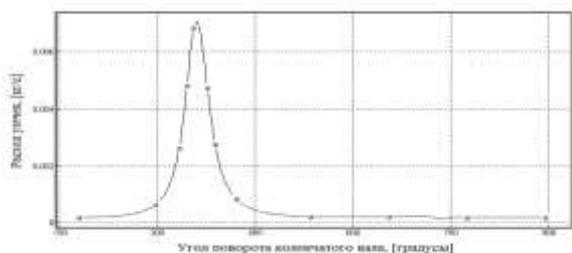


Рис. 5. Пример расчета утечек картерных газов

Таким образом, изложенная выше модель может быть отнесена к классу термодинамических моделей, рассматривающей картер поршневого ДВС как открытую термодинамическую систему, обменивающуюся рабочим телом с окружающей средой через сапун и с рабочими камерами двигателя через неплотности между поршнем и зеркалом цилиндра.

Выводы. Как следует из вышепредставленного описания, модель основана на следующих допущениях:

1. Рабочее тело в картере является идеальным газом постоянного состава с физическими свойствами воздуха;
2. Изменением температуры рабочего тела в течении рабочего цикла можно пренебречь;
3. Прорыв газа через сальниковые уплотнения валов двигателя отсутствует;
4. Теплообмен картерных газов со стенками картера можно не учитывать.

Модель разрабатывается для исследования систем диагностирования технического состояния двигателя на основе характеристик газодинамического фона, и должна, в первую очередь, адекватно описывать динамику изменения давления и скорости картерных газов в сапуне. Таким образом, вышеперечисленные допущения представляются вполне приемлемыми.

Л и т е р а т у р а

1. Биргер И.А. - Техническая диагностика - М.: «Машиностроение», 1978 - 240 с.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов/ - М.: Мир, 1974. - 463 с.
3. Бабошин А.А. «Методика диагностирования поршневых двигателей внутреннего сгорания по результатам их косвенного индирования» дисс. на соискание уч. степени к.т.н. Санкт-Петербург, 2013.
4. Ахметзянов И.Р. Измерительная аппаратура для исследования двигателя внутреннего сгорания // Новая наука: современное состояние и пути развития/ Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции. в 4 ч. Ч.3 - Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2016. - С. 4-8.

R e f e r e n c e s

1. Birger I.A. - Technical diagnostics - M.: "Mashinostroenie", 1978 - 240 p.
2. Bendat J., Pirsol A. Measurement and analysis of random processes / - M.: Mir, 1974. - 463 p.
3. Baboshin A.A. "Methods of diagnosing piston internal combustion engines based on the results of their indirect indexing" diss. on competition uch. Degrees Ph.D. St. Petersburg, 2013.
4. Akhmetzyanov I.R. Measuring equipment for the study of the internal combustion engine // New science: current state and ways of development / International scientific periodical on the basis of the International scientific-practical conference. in 4 hours. Part 3 - Sterlitamak: RIC AMI, 2016. - p. 4-8.

Smetana S.A., Sidorchenko A.V., Kolbas N.V.
**JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF DIAGNOSTIC
MODEL OF TECHNICAL CONDITION OF ICE
MECHANISMS**

The results of the analysis of the system approach in solving diagnostic problems with the aim of creating a diagnostic model of the technical state of the mechanisms of internal combustion engines according to selective parameters of gas-dynamic processes of the working cycle are presented.

Key words: *diagnostics, diagnostic process, technical condition of ICE, diagnostic parameter, structural diagram, mathematical model.*

Сметана Сергей Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Промышленный и городской транспорт», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Smetana Sergey Aleksandrovich, Ph.D., Assoc. prof. Department "Industrial and urban transport" State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Сидорченко Александр Владимирович, магистр, старший преподаватель кафедры «Промышленный и

городской транспорт», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Sidorchenko Alexander Vladimirovich, Master, Senior Lecturer of the Department "Industrial and urban transport", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Колбас Никита Вячеславович, магистрант гр. ТЛ-381м ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Kolbas Nikita Vyacheslavovich, master student gr. TL-381m State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Транспортные системы» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля»

Статья подана 12.03.2019

УДК 629.33

ФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Старченко В.Н., Тенишев В.Е.

FRICIONAL MATERIALS BASED ON CARBON-CARBON COMPOSITES FOR BRAKING DEVICES OF TRANSPORT MACHINES

Starchenko V.N., Tenisheff V.E.

В статье приведены исследования и анализ эффективности использования фрикционных материалов в тормозных устройствах транспортных машин. Рассмотрены преимущества и недостатки используемых фрикционных материалов. Приведены теплофизические характеристики фрикционных материалов, схемы расположения нитей в двунаправленной ткани 2D и изменение модуля упругости.

Ключевые слова: процесс торможения, фрикционные материалы, продукты износа, автомобиль.

Введение. В современных условиях особую актуальность приобретает проблема торможения, поскольку необходимо не только обеспечить безусловную безопасность движения, но и выполнить постоянно возрастающие нормативные требования по величине тормозного пути, времени торможения и допускаемому замедлению. Энергоёмкость и качество торможения определяется непосредственно фрикционным сопряжением механических тормозных устройств: тормозная колодка (накладка) – тормозной диск или колёса тормозных осей подвижного состава.

Последние исследования. В тормозных системах применяются различные фрикционные материалы: чугун (серый, перлитный, титанистый, фосфористый – различные модификации); фрикционные асбополимерные (ФАПМ); композиционные и металлокерамические [1, 3, 5]. Анализ экспериментальных исследований указывает на существенную зависимость основного выходного параметра фрикционного сопряжения – реализуемого коэффициента трения, – как мгновенных, так и средних его значений, от удельной нагрузки, скорости скольжения и температуры на контактной поверхности.

Ярко выраженное снижение коэффициента трения чугунных колодок любого типа с ростом скорости движения обуславливает эксплуатационные границы их применения до

скорости 140 км/ч при осевой нагрузке 210 кН и тормозной мощности на оси не более 450 кВт.

Композиционные колодки из материалов V-BKS типов LL, L, K и K-hoch или ТИИР-300,303,308 имеют менее выраженную зависимость коэффициента трения от скорости, однако увеличивается влияние усилия прижатия и наличия влаги, рекомендуемая максимальная скорость 100...160 км/ч.

Опыт эксплуатации подвижного состава, оснащенного тормозами с металлокерамическими тормозными колодками и максимальной скоростью движения 220 км/ч, показал, что механический тормоз должен включаться только после электрического на малых скоростях движения и в случаях экстренного торможения, что обусловлено резким увеличением термических напряжений (до 500...700 Н/мм²) и структурными изменениями материала поверхности катания колеса – появлением сетки поверхностных трещин, которые впоследствии разрастаются, являясь очагами мелкого выкраивания и способствуя интенсивному изнашиванию поверхности колеса.

Цель работы. Провести исследования и анализ эффективности использования фрикционных материалов в тормозных устройствах транспортных машин. Рассмотреть преимущества и недостатки используемых фрикционных материалов.

Теплофизические свойства фрикционных материалов определяются теплоёмкостью и теплопроводностью (табл. 1), первая способствует снижению температуры контактной поверхности за счёт поглощения теплоты, а вторая – за счёт её передачи через фрикционное сопряжение к охлаждаемым поверхностям.

Повышение энергоёмкости тормозных устройств и осевой тормозной мощности предъявляют именно к этим свойствам особые и повышенные требования.

Температура в контакте является основным фактором, который оказывает решающее влияние на

коэффициент трения и износостойкость фрикционного сопряжения.

Таблица 1

Теплофизические характеристики фрикционных материалов

Характеристика	Асболополимерные (ФАПМ)		Чугун, % фосфора		Композиты	Металло-керамика
	форминные	вакцинальные	0.8 - 1.0	3.0		
Удельная теплоёмкость, кДж/(кг·°С)	0.88-1.17	0.88-1.0	0.5-0.67	-	1.04	0.52
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0.4-0.81	0.43-0.5	50-35	28-21	1.3	7.5

Впервые на это обстоятельство указал проф. В.М. Казаринов [7], при испытании пар трения с чугунными колодками было установлено, что имеются критические сочетания величины силы нажатия на колодку и скорости движения, при которых происходит недопустимо большой износ.

По условиям эксплуатации колодочные тормоза относятся к категории теплонапряженных, так как при движении на участках дорог с затяжными спусками температура колодок в зоне взаимодействия с колесом превышает 1000°С, что соответствует тяжёлому и сверхтяжёлому режимам работы [8,9].

В дисковых тормозах высокоскоростного подвижного состава энергоёмкостью более 15 МДж и тормозной мощностью на оси более 400 кВт при максимальной расчётной температуре 600°С в зоне пятен прижога диска и накладки фактическая температура достигает 800...1000°С [10]. Повышение энергоёмкости тормозных устройств подвижного состава до 100 МДж и тормозной мощности на одной колёсной паре до 1100 кВт возможны при использовании новых композиционных материалов, которые уже нашли применение в авиации и в гоночных автомобилях «Формулы-1».

Анализ требований к фрикционным материалам тормозных устройств подвижного состава в сложившихся условиях свидетельствует о том, что для обеспечения высокой эффективности и долговечности перспективными являются принципиально новые углерод-углеродные композиционные материалы (С-С композиты).

Результаты исследований.

Многонаправленные волоконные каркасы. Многонаправленные У-УКМ позволяют реализовать заданные свойства материала в разных направлениях готового изделия. Термическими, механическими и физическими свойствами композита можно управлять путем изменения соответствующих параметров армирующего каркаса, таких как ориентация волокон, объемное содержание волокон в требуемых направлениях, шаг волокон, плотность каркаса, тип нити и вид волокон. Выбор матрицы и способа изготовления композита

также оказывают влияние на свойства конечного изделия.

В связи с тем, что фрикционный материал в тормозных устройствах испытывает высокую механическую и тепловую напряжённость, а также то, что он должен иметь высокую теплопроводность для снижения температуры контактной поверхности, изготовление фрикционных У-УКМ следует проводить с использованием высокопрочных и высокомодульных углеродных волокон.

Исходными материалами для таких волокон являются полиакрилонитрильные (ПАН) и вискозные волокна, которые после высокотемпературной (2000...2200°С) обработки (карбонизация и графитизация в вакууме или инертной среде) имеют высокие прочностные и упругие характеристики, теплостойкость, устойчивы к атмосферным воздействиям и химическим реагентам.

Углеродные волокна имеют прочность от $\sigma = 3$ ГПа до 450 ГПа и более [11], особенно качественные углеродные волокна на основе ПАН-волокон изготавливаются японскими фирмами «Торей», «Тохо Рейон» и «Когосима Сэкию».

Для армирования композитов может использоваться материал из переплетенных нитей в виде двух - и трёхнаправленной (2D и 3D) ткани (рис. 1 и 2).

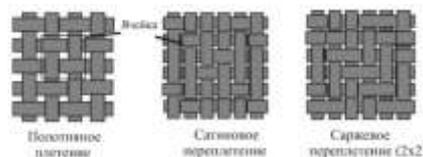


Рис. 1. Схемы расположения нитей в двунаправленной ткани 2D

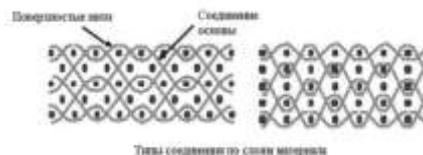


Рис.2. Схемы трёхмерного переплетения для ткани 3D

Наилучшим конструкционным композитом является материал, в котором армирующие волокна размещены по объему изделия так, чтобы элемент конструкции выдерживал расчетные нагрузки по возможным направлениям их приложения.

Наиболее простая многонаправленная структура состоит из системы трех взаимно перпендикулярных нитей (3D), этот тип структуры состоит из пучков нитей, расположенных в направлениях прямоугольной системы координат (рис. 3).

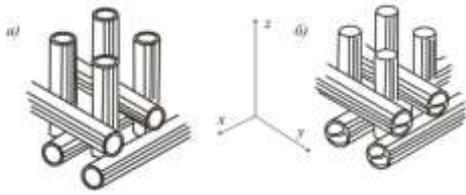


Рис. 3. Схемы расположения волокон в структуре, а) 1-1-1 и б) 2-2-1

Для повышения изотропных свойств КМ применяется многонаправленная укладка арматуры, которая получается из ортогональной 3D структуры добавлением 1, 2 или 3-х (и более) направлений укладки в плоскости XY (рис. 4).

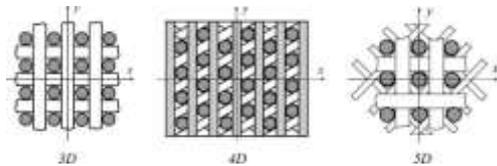


Рис. 4. Схемы расположения арматуры в каркасе материала

Объемный коэффициент для КМ 3-D структуры при плотной ортогональной упаковке волокон различного диаметра (рис. 5)

$$\mu_{\Sigma} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d_1^2(d_2+d_3) + d_2^2(d_1+d_3) + d_3^2(d_1+d_2)}{(d_1+d_2) \cdot (d_2+d_3) \cdot (d_1+d_3)}, \quad (1)$$

при $d_1 = d_2 = d_3, \mu_{\Sigma} = \frac{3}{16} \cdot \pi.$

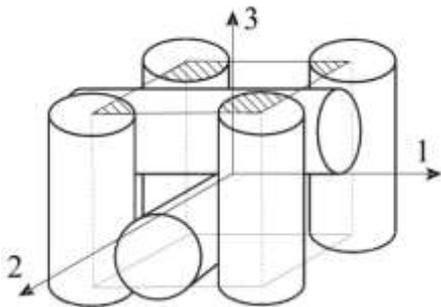


Рис. 5. Представительный элемент объемной 3-D

Если структура собирается из стержней, имеющих степень армирования ϕ , то

$$\mu_{np} = \mu_{\Sigma} \cdot \phi = 0.589\phi. \quad (2)$$

Степень армирования материала по каждому из направлений

$$\mu_i = 0.333 \cdot 0.589\phi = 0.196\phi, \quad (3)$$

где 0,333 – доля волокон, уложенных в каждом из направлений, от общего объема волокнистой арматуры.

Расчетные зависимости для определения модулей упругости и модулей сдвига унифицированной матрицы:

$$E_1^* = \frac{[1 + (n^0 - 1) \cdot \mu_1] \cdot E_a}{[\mu_1 + n^0(1 - \mu_1)] \cdot [1 + (n^0 - 1) \cdot \mu_1] - (n^0 \cdot \nu_c - \nu_a)^2 \cdot (1 - \mu_1) \cdot \mu_1}; \quad (4)$$

$$E_2^* = E_1^* \quad (5)$$

$$E_3^* = \frac{[1 + (n^0 - 1) \cdot \mu_1] \cdot E_a}{[\mu_1 + n^0(1 - \mu_1)] \cdot [1 + (n^0 - 1) \cdot \mu_1] - (n^0 \cdot \nu_c - \nu_a)^2 \cdot (1 - \mu_1) \cdot \mu_1}; \quad (6)$$

При сопоставлении значений модулей упругости E_1, E_2 и E_3 , которые в направлениях 1, 2 и 3 должны быть одинаковыми, видно, что их значения при $\theta=0^0$ различаются незначительно, не более чем на $\approx 2\%$ (рис. 6). Анализ значений модуля упругости E_3 , которые не должны зависеть от угла поворота, показывает, что его расчетные значения не изменяются (рис. 6 - 419.63 МПа).

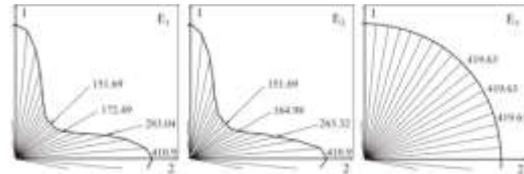


Рис. 6. Изменение модуля упругости E 10² МПа, 3-D структура

По разработанной технологии изготовлены опытные образцы фрикционных материалов с унифицированной матрицей, испытания которых подтвердили уникальную особенность С-С композитов - значительный рост коэффициента трения с увеличением температуры на контактной поверхности (рис. 7).

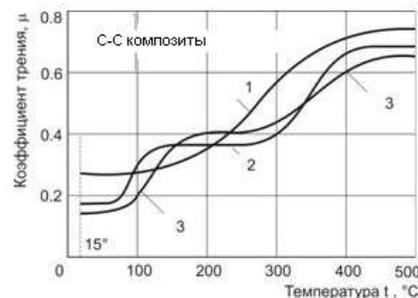


Рис. 7. Зависимость коэффициента трения от температуры контактной поверхности (давление - 0,15 Мпа, скорость 12,6 м/с), пара трения стальной барабан – углерод-углеродные колодки; 1,2,3 – варианты исполнения унифицированной матрицы

Выводы. Наиболее эффективными являются новые тормозные С-С колодки на основе углерода – углеродных композитов с пироуглеродной матрицей, отличительной особенностью которых является способность сохранять прочностные, теплофизические и трибологические характеристики фрикционного сопряжения при работе в условиях высоких температур. Однако, требуется доводка технологии процесса изготовления и введения дополнительного модификатора трения для улучшения торможения при малых и низких температурах. Перспективным является применение в тяжелогазруженных дисковых тормозных устройствах транспортных машин, при этом и диск, и накладки могут быть изготовлены из модифицированных композитов.

Литература

1. Chan, D. Review of automotive brake friction materials / D. Chan, G. W. Stachowiak // Journal of automobile engineering. — 2004. — Vol. 218. — P. 953–966.
2. Eriksson, M. Surface characterization of brake pads after running under silent and squealing conditions / M. Eriksson, F. Bergman, S. Jacobson // Wear. — 1999. — Vol. 232. — P. 163–167.
3. Handbook of ceramic composites; ed. by Narottam P. Bansal. — Boston: Kluwer Academic Publishers, 2005. — 554 p.
4. <http://dpgo.ru/article/2011-03-15>. Технология керамических тормозных колодок — происхождение и преимущества.
5. <http://www.ximicat.com/info.php?id=5784>. Фрикционные материалы.
6. Васильев В.В. Композиционные материалы: Справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др. - М.: Машиностроение, 1990.
7. Казаринов В. М. Автотормоза: учебник для вузов / 2-е издание. — М.: Трансжелдориздат 1963. - 239с.
8. Мэттьюс Ф. Композитные материалы. Механика и технология. Мэттьюс Ф., Ролингс Р. - М.: Техносфера, 2004.
9. Сафин В.Н. Композиционные материалы [Текст лекций] - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010.
10. Старченко В.Н. Тепловые процессы при колодном торможении фрикционными С-С композитами // Весн. Восточноукр. нац. ун-та. — 2007. - №6 (112). — С. 227-230/
11. Старченко В.Н. Трибологические свойства фрикционных С-С композитов для тормозных устройств подвижного состава // Весн. Восточноукр. нац. ун-та. — 2007. - №6 (112). — С. 48-52/

References

1. Chan, D. Review of automotive friction materials / D. Chan, G. W. Stachowiak // Journal of automobile engineering. - 2004. - Vol. 218. - p. 953–966.
2. Eriksson, M. Surface conditions and silent conditions / M. Eriksson, F. Bergman, S. Jacobson // Wear. - 1999. - Vol. 232. - p. 163–167.
3. Handbook of ceramic composites; ed. by Narottam P. Bansal. - Boston: Kluwer Academic Publishers, 2005. - 554 p.
4. <http://dpgo.ru/article/2011-03-15>. Ceramic brake pads technology - origin and benefits.

5. <http://www.ximicat.com/info.php?id=5784>. Friction materials.
6. Safin V.N. Composite materials [Text of lectures] - Chelyabinsk: SUSU Publishing Center, 2010.
7. Kazarinov V.M. Avtotormoza: a textbook for universities / 2nd edition. - M.: Transgel-dorizdat 1963. - 239s.
8. Composite materials: a Handbook / V.V. Vasiliev, V.D. Protasov, V.V. Bolotin et al. - M.: Mashinostroenie, 1990
9. Matthews F., Rawlings R. Composite materials. Mechanics and technology. - M.: Technosphere, 2004.
10. Starchenko V.N. Tribological properties of friction C-C composites for rolling stock braking devices // Vestnik East Ukr. Nat. Un-ty. - 2007. - №6 (112). - p. 48-52 /
11. Starchenko V.N. Thermal processes during shoe braking with friction C-C composites // Vestnik. East Ukr. Nat. Un-ty. - 2007. - №6 (112). - p. 227-230.

Starchenko V.N., Tenisheff V.E.

FRictional MATERIALS BASED ON CARBON-CARBON COMPOSITES FOR BRAKING DEVICES OF TRANSPORT MACHINES

The article presents research and analysis of the effectiveness of the use of friction materials in the braking devices of transport vehicles. The advantages and disadvantages of the used friction materials are considered. The thermo physical characteristics of friction materials, the layout of filaments in a bidirectional 2D fabric and the change in elastic modulus are presented. Recommendations are given to improve the efficiency of using friction materials in braking devices.

Keywords: braking process, friction materials, wear products, automobile.

Старченко Валерий Николаевич, д.т.н. профессор кафедры «Промышленный и городской транспорт (автомобили)» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.
E-mail: starchenko.13@ukr.net

Starchenko Valery Nikolaevich, Dr. of Sc. Professor of the Department "Industrial and urban transport (cars)", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».
E-mail: starchenko.13@ukr.net

Тенишев Валерий Евгеньевич, ассистент кафедры «Промышленный и городской транспорт (автомобили)» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.
E-mail: valera_tenishev@mail.ru

Tenisheff Valery Evgenyevich, Assistant of the Department "Industrial and urban transport (cars)", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».
E-mail: valera_tenishev@mail.ru

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Транспортные системы» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

УДК 629.33

ТЕХНОЛОГИЯ И УПЛОТНЕНИЕ МНОГОНАПРАВЛЕННЫХ СТРУКТУР ФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ

Старченко В.Н., Тенишев В.Е., Теренин П.О.

TECHNOLOGY AND MULTI-DIRECTED SEAL STRUCTURES OF FRICTIONAL MATERIAL TO IMPROVE EFFICIENCY OF THE BRAKING PROCESS

Starchenko V.N., Tenisheff V.E., Terenin P.O.

В статье приведена технология и уплотнение многонаправленных структур для повышения эффективности торможения и получения композиционного материала с предельно высокой плотностью, установлена зависимость для определения скорости движения зоны пиролиза и получения требуемой плотности конечного материала. Сделаны выводы, что модифицированные углерод-углеродные композиты имеют достаточный начальный коэффициент трения и стабилизацию на уровне 0,45-0,55 в широком диапазоне изменения температуры поверхности трения.

Ключевые слова: *методы уплотнения, многонаправленные структуры, процесс торможения, фрикционные материалы.*

Введение. Многонаправленные углерод-углеродные композиты дают возможность реализовать заданные свойства материала в разных направлениях готового изделия. Термическими, механическими и физическими свойствами композита можно управлять путем соответствующего расчета таких параметров армирующего каркаса, как ориентация волокон, объемное содержание волокон в требуемых направлениях, шаг волокон, плотность каркаса, тип нити и вид волокон. Выбор матрицы и способа изготовления композита также оказывают сильное влияние на свойства конечного изделия.

Последние исследования. Уплотнение многонаправленных структур для получения композиционного материала с предельно высокой плотностью осуществляется методом пропитки армирующего каркаса органическими соединениями при низком или высоком давлении, или же методом химического осаждения углерода из газообразного углеводорода на углеродную подложку. Полимерная матрица для уплотнения армирующего каркаса и последующего перевода в углерод-углеродный композит выбирается на основании характеристик непосредственно матрицы и продуктов её пиролиза:

вязкость, выход и кристаллическая микроструктура кокса, которые формируются под воздействием давления и температуры в процессе получения композита. Обычно в качестве исходных материалов применяются терморезистивные смолы и пек из каменноугольной смолы или нефти.

Уплотнение высоким давлением отличается от пропитки при низком давлении только применением дополнительного давления при карбонизации, при этом выход кокса может увеличиваться от 50% при атмосферном (нормальном) давлении до 85% при давлении 68,9 МПа.

Суть метода химического осаждения из паровой фазы заключается в диффузии газ-носителя активного углерода, образующего матрицу. Для насыщения углерод-углеродных композитов применяется три процесса осаждения – изотермический, с термическим градиентом и с перепадом давления.

В последние годы разработаны новые эффективные способы уплотнения пироуглеродом пористых сред – термоградиентное газофазное уплотнение методом радиально движущейся зоны пиролиза [1, 4, 6].

Цель работы. Совершенствование технологического процесса уплотнения многонаправленных структур для улучшения процесса торможения и получения композиционного материала с предельно высокой плотностью.

Термоградиентный газофазный метод уплотнения. Сущность метода заключается в том, что во время уплотнения в пре-форме создаётся градиент температуры, обратный градиент концентрации углеводородного газа. Теоретические основы термоградиентного газофазного уплотнения пироуглеродом пористых сред методом радиально движущейся зоны пиролиза разработаны научной школой под руководством проф. Гурина В.А. в

Национальном научном центре «Харьковский физико-технический институт» [3, 5].

Теоретическая модель процесса уплотнения решена путём рассмотрения в цилиндрических координатах системы уравнений взаимной диффузии молекул «углеводородный газ - водород» в условиях наличия градиента температуры на пути диффузии при соответствующих граничных условиях. При этом принято во внимание, что в ходе процесса температура на поверхности пре-формы постоянно увеличивается, то есть концентрация углеводородного газа является функцией температуры поверхности.

В результате решения установлена зависимость для определения скорости движения зоны пиролиза и получения требуемой плотности конечного материала (чаще всего – максимально возможной) в виде [5]

$$V = \frac{\eta \xi \delta D_0 n_0}{\Delta \rho T_0} \cdot \frac{[T_k + Kr_1]}{r_1 [T_k - KR + Kr_1] \cdot \left\{ \frac{T_k + Kr_1}{T_k - KR + r_1} + \ln \frac{RT_k}{[T_k - KR + Kr_1] r_1} - \frac{T_k + Kr_1}{T_k} \right\}} \quad (1)$$

где V – необходимая скорость движения зоны пиролиза в заданной точке по радиусу формы;

η - удельное содержание углерода в молекуле углеводорода, например – 0.75 г/см³ для СН₄;

δ - открытая пористость уплотняемой среды;

ξ - коэффициент скважности уплотняемой среды;

D_0 - коэффициент взаимной диффузии углеводородного газа и водорода

при 273К и 760 мм. рт. ст. (0.6902 м²с⁻¹ для газов СН₄ – Н₂);

n_0 - концентрация углеводородного газа в реакционном объёме камеры

при 273К и 760 мм. рт. ст. (7.14·10⁻⁴ г·см⁻³ для СН₄);

$\Delta \rho$ - необходимый прирост плотности уплотняемой среды (разница между конечной плотностью и начальной плотностью);

T_k - критическая температура в зоне пиролиза (1173...1273К);

T_0 - 273К;

r_1 - координата зоны пиролиза;

R - внешний радиус уплотняемой формы;

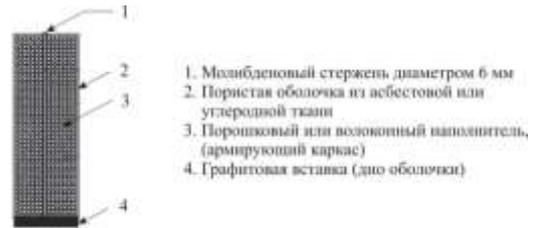
K - градиент температуры по радиусу уплотняемой формы на отрезке радиуса.

Анализ уравнения (1) показывает, что все его аргументы являются табличными и могут быть легко определены общедоступными экспериментальными методами. К примеру, градиент температуры K зависит от диаметра пре-формы, свойств наполнителя (теплопроводность,

электропроводность и т.д.), но всегда может быть измерен перемещением термопары по радиусу пре-формы.

Уравнение (1) легко интегрируется графическим или численным методом.

Схематично вид пре-формы для связывания пироуглеродом порошковых или волоконных наполнителей (армирующего каркаса) методом радиально движущейся зоны пиролиза показан на рис. 1.



1. Молибденовый стержень диаметром 6 мм
2. Пористая оболочка из асбестовой или углеродной ткани
3. Порошковый или волоконный наполнитель, (армирующий каркас)
4. Графитовая вставка (дно оболочки)

Рис. 1. Схематичный вид пре-формы для уплотнения пироуглеродом

Результаты исследований.

Сущность термоградиентного метода уплотнения заключается в том, что указанная температура реализуется на поверхности молибденового стержня и в узкой зоне (зоне пиролиза) вокруг стержня. Реакция осаждения пироуглерода на поверхности частиц порошка или каркаса происходит только в зоне пиролиза. В остальном объёме по радиусу пре-формы температура ниже пороговой температуры осаждения пироуглерода. Поддерживая на термопаре необходимую температуру, её перемещают по радиусу пре-формы к внешней поверхности и таким образом связывается пироуглеродом весь наполнитель до необходимой плотности.

Углеводородный газ свободно диффундирует в зону пиролиза, а образующийся водород в обратном направлении. Постоянно по радиусу уплотняемой пористой среды существует градиент температуры, обратный по направлению градиенту концентрации углеводородного газа.

Этот метод уплотнения является исключительно энергосберегающим, поскольку тепло излучает только внешняя поверхность пре-формы и на протяжении всего процесса она достаточно холодная. Только в конце процесса она нагревается до температуры 900...1000°С.

Для изготовления У-УКМ по этому методу применяются термоградиентные газофазные установки типа АГАТ- 1.6, АГАТ- 2.0, АГАТ- 3.2, ГФ- 2 и ГФ- 3, которые различаются размерами реакционных камер, мощностью источников питания и типом электрического тока для резистивного нагревания уплотняемых пироуглеродом пористых пре-форм. Установки типа АГАТ позволяют реализовать не только термоградиентные процессы уплотнения, но и

изотермические методы газофазного уплотнения, а также отжиг образцов и изделий при температурах до 3000°C в вакууме или в среде инертных газов (рис. 2).

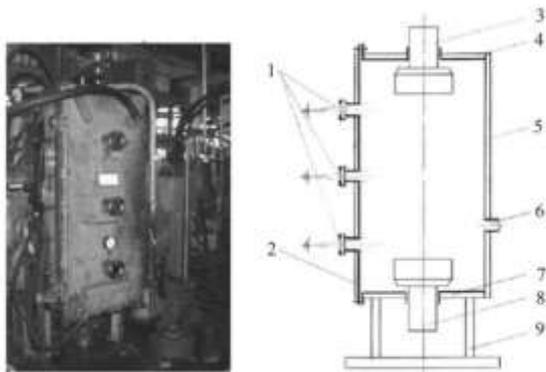


Рис. 2. Внешний вид и принципиальная схема установки АГАТ – 2.0: 1 – смотровые окна, 2 – двери, 3 – верхний токоподвод, 4 – верхний фланец, 5 – корпус камеры, 6 – патрубок вакуумной системы, 7 – нижний фланец, 8 – нижний токоподвод, 9 – подставка

По приведённой технологической схеме на основании патента [6] и дополнительных разработок, лабораторией графитовых и углерод-углеродных материалов Харьковского физико-технического института АН Украины изготовлено несколько опытных партий модифицированных С-С композитов для транспортных средств и транспортных машин.

Результаты испытаний этих образцов показали, что модифицированные С-С композиты имеют более высокий коэффициент трения при начальной температуре окружающей среды (15...20°C), чем «чистые» композиты и его величина находится в пределах 0,32...0,45, что свидетельствует о положительном влиянии модификаторов трения на фрикционные характеристики новых материалов. [7,9,10].

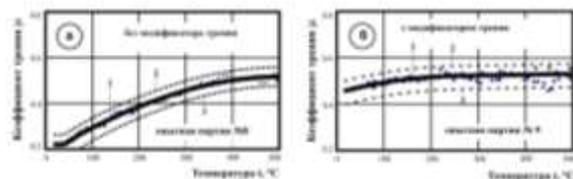


Рис. 3. Характер зависимости коэффициента трения от температуры контактной поверхности трения: без модификатора (а) и с модификатором (б), среднее значение, 2 - верхний предел, 3 - нижний предел (давление – 0,15 МПа, скорость 12,6 м/с)

Использование упрочняющего каркаса гибридного типа, как следует из полученных результатов, не оказывает влияния на величину коэффициента трения при температуре 15...20°C, однако способствует его стабилизации с ростом

температуры контактной поверхности. При этом сохраняется тенденция роста величины коэффициента трения с повышением температуры аналогично «чистым» У-УКМ по типу СК-07.04 и СК-09.04. Применение гибридного армирования оказывает положительное влияние на прочностные и теплофизические свойства С-С композитов – на повышение теплоёмкости и теплопроводности. Последнее обстоятельство является особенно важным для снижения тепловой напряжённости контактной зоны пары трения.

Выводы. Результаты исследований показали, что модифицированные углерод-углеродные композиты имеют достаточный начальный коэффициент трения и стабилизацию на уровне 0,45-0,55 в широком диапазоне изменения температуры поверхности трения и могут быть рекомендованы для опытной эксплуатации.

Литература

1. Dongny P. J., Ellis R.A. An advanced nozzle for space motor.pro. AIAA, 16h.Int. Carbon Conf. New Orleans, 1980. -P.486.
2. Savage G. Carbon-carbon composite. - London: Chapman @Hall, 1992. -P 388.
3. В.А. Тарнопольский. Тормозные системы. В.А. Тарнопольский, И. Г. Житун, В.А. Поляков и др. - М.: Машиностроение. 1987. -224с.
4. Воробей В. В. Технология производства из композиционных материалов: Учебное пособие - М.: Изд-во МАИ, 1996. 179с.
5. Димитренко Ю. И. Механика композиционных материалов при высоких температурах. - М.: Машиностроение, 1997. -388 с.
6. И.В. Гурин. Прикладная механика композитов. И.В. Гурин, В.А. Гурин, Ю.А. Грибанов, А.Н. Буколов, и др. Механика. - М.: Мир, 1989. -358с., Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт».
7. Старченко В.Н. Композиционный материал на основе углерод-углерода для фрикционных материалов: патент на изобретение №82267. Украина. МПК C04B 35/83, C04B 35/52, F16D 69/00 / Старченко В.Н., Полупан Е.В., Шевченко С.И., заявл. 03.05.2006; опубл. 25.03.08, Бюл. №6. – 4с.

References

1. Dongny P. J., Ellis R.A. An advanced nozzle for space motor.pro. AIAA, 16h.Int. Carbon Conf. New Orleans, 1980. -P.486.
2. Savage G. Carbon-carbon composite. -London: Chapman @Hall, 1992. -P 388.
3. V.A. Tarnopolsky. Brake systems. V.A. Tarnopolsky, I. G. Zhitun, V.A. Polyakov et al. - М.: Mashinostroenie. 1987. -224s.
4. Sparrow V. Century Technology of production of composite materials: Tutorial - М.: Izd-vo MAI, 1996. 179s.
5. Dimitrenko Yu. I. Mechanics of composite materials at high temperatures. - М. Mashinostroenie, 1997. -388 p.
6. I.V. Gurin. Applied mechanics of composites. I.V. Gurin, V.A. Gurin, Yu.A. Griбанov, A.N. Bukolov, others. Mechanics. - М.: Mir, 1989. -358с. National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology",

7. Starchenko V.N. Composite material based on carbon-carbon for friction materials: patent for the invention №82267. Ukraine. MPK SW 35/83, SW 35/52, F16D 69/00 / Starchenko V.N. Polupan EV, Shevchenko S.I., claimed. 05.05.2006; publ. 25.03.08, Byul. №6. - 4с.

Starchenko V.N., Tenisheff V.E.

TECHNOLOGY AND MULTI-DIRECTED SEAL STRUCTURES OF FRICTIONAL MATERIAL TO IMPROVE EFFICIENCY OF THE BRAKING PROCESS

The article presents the technology for compacting multidirectional structures to increase braking efficiency and to obtain a composite material with extremely high density, a relationship is established to determine the speed of movement of the pyrolysis zone and obtain the required density of the final material. It was concluded that the use of hybrid reinforcement has a positive effect on the strength and thermophysical properties of C-C composites and modified carbon-carbon composites have a sufficient initial coefficient of friction and stabilization at the level of 0.45-0.55 in a wide range of temperature variation of the friction surface.

Keywords: *sealing methods, multidirectional structures, braking process, friction materials.*

Старченко Валерий Николаевич, д.т.н. профессор кафедры «Промышленный и городской транспорт (автомобили)» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.
E-mail: starchenko.13@ukr.net

Starchenko Valery Nikolaevich, Dr. of Sc. Professor of the Department "Industrial and urban transport (cars)", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».
E-mail: starchenko.13@ukr.net

Тенишев Валерий Евгеньевич, ассистент кафедры «Промышленный и городской транспорт (автомобили)» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.
E-mail: valera_tenishev@mail.ru

Tenisheff Valery Evgenyevich, Assistant of the Department "Industrial and urban transport (cars)", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».
E-mail: valera_tenishev@mail.ru

Теренин Петр Олегович, студент группы ТЛ-371м ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Terenin Petr Olegovich, student group TL-371m of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Транспортные системы» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана: 2.03.2019

УДК621.891

УВЕЛИЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВКИ «КОЛЕСО ТУРБИНЫ»

Стихнин Е.В.

INCREASING THE DURABILITY OF TECHNOLOGICAL TOOLING FOR RECEIVING THE WHEEL OF TURBINE CASTING

Stikhnin E.V.

При изучении технологического процесса получения отливки «Колесо турбины» на автомобиль КАМАЗ серии 7405 и 7403 (и взаимозаменяемые узлы) было выявлено узкое место. Отливка производилась по литейной технологии – по выплавляемым моделям. В качестве основного инструмента является технологическая оснастка – пресс-форма, проектный срок службы которой составляет 450 000 съёмов. По факту стойкость оснастки составляла 250 000 – 270 000. В результате углубленного изучения конструкции формы с применением техники «5 почему?» были выявлены слабые места. Предложены 2 гипотезы, одна из которых внедрена в производство и обрабатывается на опытно-промышленной партии.

Ключевые слова: турбина, оснастка, литье, износостойкость, материал, пресс-форма.

Введение. Лимитирующим элементом и объектом исследования является ползун (рис. 1). Рассмотрим более детально конструкцию данной детали. Ранее основные исследования по вопросу турбин были рассмотрены в литературных источниках [1,2,3] Шкабура В. А., Гавриленко Е.А., Свечникова А.А.. Все они указывали на подтверждение лимитирующего органа моего объекта исследования.

Основной рабочей поверхностью является формообразующая поверхность №1, служебное назначение которой – формирование поверхности при заливке материала в форму. В связи с этим данная поверхность должна выполняться с низкой шероховатостью – Ra 0,2 мкм. Допуск на поверхность определён точностью изготовления отливки и имеет значение: до 25мм +/-0,026, от 25мм до 50 мм +/-0,052, свыше 50 +/-0,078мм. Отливка № 7405-1118090 «Колесо турбины» имеет 5ый класс точности по ГОСТ 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов».

Основными вспомогательными поверхностями являются направляющие №2 (обозначенная на чертеже штрих пунктиром и буквой Б, кроме поверхности под углом 5град). Назначение данной

поверхности – это направление данного ползуна в нужные координаты, невозможность поворота относительно поверхностей Б. В связи с этим шероховатость поверхности должна быть не выше Ra 0,8 мкм – так как поверхность является скользящей. Допуск на данную поверхность составляет 0,013мм по ширине, что соответствует 6 качеству.

Также основными вспомогательными поверхностями являются передние замковые поверхности №3. Служебное назначение данных поверхностей – обеспечение почти без зазорного соединения (max 0,04мм) с сопрягаемой поверхностью, аналогичной поверхностью соседнего ползуна. Данная поверхность выполняется с незначительным припуском (0,01-0,02) для дальнейшей слесарной подгонки по краске. Шероховатость поверхностей №3 оговорены чертежом – Ra 0,2мкм.

Имеется на данной детали задняя замковая поверхность №4. Эта поверхность служит для фиксации ползуна по направлению к центру пресс-формы. По оси «У» опускается запорный диск с углом 5 град и прижимает ползун да упора, по направлению к центру пресс-формы. Шероховатость поверхности №4 составляет 0,8 мкм с допуском угловым +/-50 сек, а линейным 13 мкм, что соответствует 6 качеству.

Поверхности №5 является упорными, то есть они ограничивают движение ползуна к центру пресс-формы. Шероховатость нижней упорной поверхности №5 оговорена чертежом – Ra 0,2мкм, кроме у верхней упорной поверхности Ra составляет 0,8 мкм с 7мым качеством.

Поверхность №6 является посадочной поверхностью для игольчатого подшипника, через который передается усилие, с помощью которого ползун приводится в движение. Шероховатость данной поверхности составляет 0,8 мкм по диаметру 8+0,015 (кавалитет 7), по линейному размеру 20+0,07 – Ra 1,6 мкм (чуть грубее 10 квалитета).

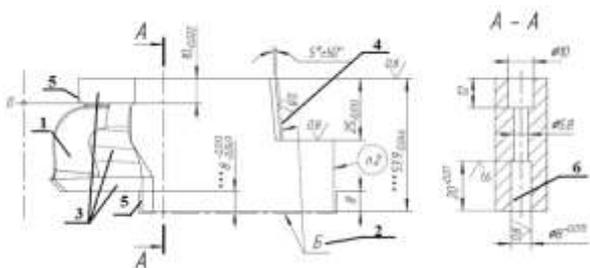


Рис.1. Ползун пресс-формы

1 – формообразующие поверхности; 2 – направляющие поверхности; 3 – замковые поверхности; 4 – задняя замковая поверхность; 5 – упорные поверхности; 6 – посадочная поверхность под подшипник

Цель работы заключается в повышении износостойкости замковых и направляющих поверхностей ползуна.

Для выполнения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- изучить природу возникновения износа;
- предложить гипотезы;
- произвести предварительный расчет гипотез;
- внедрить одну из гипотез;
- рассчитать экономический эффект.

Изложение основных материалов. В ходе анализа схемы «пять почему?» обнаружены следующие проблемы:

1. Отсутствие в технологическом процессе операции очистки направляющих поворотного диска в процессе эксплуатации пресс-формы в производстве точного стального литья литейного завода;
2. Износ замковых частей формообразующих деталей;
3. Влияние влажности при осуществлении литейной технологии;
4. Отсутствие в конструкторской документации динамометрической ручки;
5. Недостаточная грамотность рабочего класса;
6. Низкая заработная плата рабочих;
7. Заложен в конструкцию материал Л63, мягкий и подверженный абразивному износу материал;
8. Конструкция подобрана по аналогу. Детальный расчет не был проведен.

Для снижения влияния абразивного износа и повышения стойкости направляющих и замковых поверхностей, мною были предложены 2 гипотезы:

Гипотеза №1 - повышение износостойкости за счет изменения конструкции направляющего диска с направляющими ползуну.

Основная идея гипотезы №1: увеличение площади контакта на 60% уменьшит контактные напряжения на 30%.

Для теоретического расчета гипотезы №1 воспользуемся программой Unigraphics NX 9.0 модулем «Расширенная симуляция» методом конечных элементов.

Окончательную часть расчета и выводы по гипотезе №1: среднее значение напряжения по Мизесу, имеющейся конструкции согласно расчета с помощью программы Unigraphics NX 9.0 модуля «Расширенная симуляция» методом конечных элементов составило 140136 МПа.

Для сравнительного анализа изменили форму направляющей плиты рис. 3 и рис. 4. Для этого увеличили площадь контакта на 60% в доступных местах.

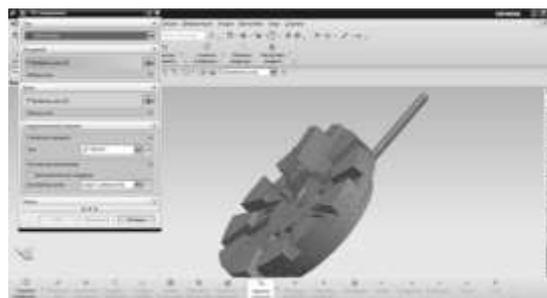


Рис. 2. Пример расчета с помощью программы Unigraphics NX 9.0 модуля «Расширенная симуляция» методом конечных элементов

Анализ решения измененной конструкции.

После повторного расчета измененной конструкции пресс-формы получили следующий результат: среднее напряжение конструкции увеличились до 162099 МПа (рис. 5). Это означает, что изменение конструкции (увеличение контакта направляющих с ползуну) приведет к увеличению напряжений на 21963 МПа и не снизит износа направляющих ползуна.



Рис.3. Имеющаяся конструкция



Рис.4. Измененная конструкция

Заключение: на теоретическом этапе и в ходе эксперимента в среде UG NX, данное нововведение не целесообразно в качестве повышения износостойкости направляющих ползуна.

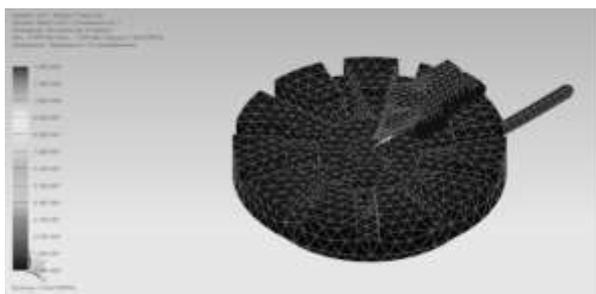


Рис. 5. Результат окончательно расчета Unigraphics NX 9.0 модуля «Расширенная симуляция» измененной конструкции поворотного диска

Гипотеза №2 - замена материала ползунов с последующим нанесением износостойкого покрытия.

Основная идея гипотезы №2: заключается в замене износостойкого материала Л63, на более износостойкий с сохранением всех положительных параметров первоначального материала.

Рассмотрим основные преимущества заложенного материала для изготовления формообразующих ползунов, а именно, материал Л63:

- хорошее скольжение (латунь по стали $K_{скольж}=0,35$; по сравнению с коэффициентом сталь по стали 0,8);
- хорошее сопротивление коррозии;
- хорошая обрабатываемость (полировка формообразующей поверхности)
- хороший коэффициент теплопроводности (при температуре 100 °С составляет $\lambda=135$ Вт/(м·град)).

Для сравнительного анализа предлагаю произвести замену материала Л63 на поковки из 5ХНМ

ГОСТ5950-2000 с последующим нанесение коррозионностойкого и износостойкого покрытия TiCN 2...4мкм (карбонитрид - титана).

Рассмотрим достоинства и недостатки данной гипотезы по пунктам:

- скольжение лучше, чем у латуни ($K_{скольж}=0,2$ по сравнению с $K_{скольж}Л63=0,35$);
- 5ХНМ с покрытием имеет хорошее сопротивление коррозии;
- материал 5ХНМ с последующей термообработкой 40...45HRC и доводкой с помощью стеклянных шариков имеет лучше способность к полировке.

- коэффициент теплопроводности ($\lambda=38$ Вт/м·град), ниже чем у Л63 ($\lambda=135$ Вт/(м·град)) .

Результаты исследований. В качестве опытных работ, в условиях Литейного завода в производстве точного стального литья была произведена пробная заливка отливки «Колесо турбины» с заниженным циклом по времени (вместо 2 минут – 1,5 минуты), для моделирования процесса получения модельки с использованием

формообразующих элементов с пониженной теплопроводностью.

Данную модель проверили на контрольно - измерительной машине ZIESS. Проанализировав данную «разметку», и сравнив ее с аналогичной «разметкой» модельки, выполненной в стандартных условиях, можно сделать предварительный вывод: снижение теплопроводности материала не приведет к значительному изменению размеров и соответственно с увеличением цикла заливки.

По результату моделирования процесса с заниженным циклом была изготовлена пресс-форма с новыми формообразующими деталями из стали 5ХНМ с последующим покрытием. Были внесены изменения в систему охлаждения формы, что привели к сохранению заданного цикла использования оснастки. Пресс-форм прошла несколько горячих испытаний и успешно была запущено в производство.

На сегодняшний день с пресс-формы сняло более 70 000 моделей. Какого-либо износа по замковым и направляющим поверхностям обнаружено не было. Форма проходит профилактические осмотры каждые 5% проектной стойкости с полным обмером вышеуказанных поверхностей на контрольно-измерительной машине с записью в паспорт технологической оснастки.

Произведем фактический расчет стоимости оснастки в цене отливки. Для этого были запрошены следующие данные в экономическом отделе Литейного завода:

Цена отливки составляет - 3 176,62 руб.

Цена пресс-формы - 637 269 руб.

$$C_0 = \frac{C_{n/\phi}}{N_{n/\phi}}, \quad (1)$$

где C_0 – стоимость оснастки в цене отливки,

$C_{n/\phi}$ – цена пресс-формы;

$N_{n/\phi}$ – среднее количество съёмов с пресс-формы.

$$C_0 = \frac{637269}{3176,62} = 1,5 \text{ руб.}$$

Произведем расчет стоимости оснастки с измененной конструкцией.

Цена п/ф остается неизменной = 437 269 руб.

Количество съёмов увеличится в 1,75 раза, тогда:

$$N_{изм} = K * N_{n/\phi}, \quad (2)$$

где K – коэффициент, на который предположительно увеличится износостойкость;

$N_{изм}$ – среднее кол-во съёмов с п/ф с измененной конструкцией.

$$N_{изм} = 1,75 * 637269 = 787500$$

Далее высчитаем стоимость технологической оснастки с измененной конструкцией в цене отливки:

$$C_{оизм} = \frac{C_{н/физм}}{N_{изм}}, \quad (3)$$

где $C_{н/физм}$ – цена технологической оснастки с измененной конструкцией;

$C_{оизм}$ – стоимость технологической оснастки с измененной конструкцией.

$$C_{оизм} = \frac{659269}{787500} = 0,84 \text{ руб.}$$

Разница в стоимости оснастки в отливке с измененной конструкцией составляет:

$$\Delta C = C_o - C_{изм}, \quad (4)$$

где ΔC – разница в стоимости оснастки с измененной конструкцией, относительно фактической конструкции.

$$\Delta C = 1,5 - 0,84 = 0,66 \text{ руб.}$$

Разница в количестве съёмов с оснастки с измененной конструкцией составляет:

$$\Delta N_{н/ф} = N_{изм} - N_{н/ф}, \quad (5)$$

где $\Delta N_{н/ф}$ – разница в количестве съёмов с оснастки с измененной конструкцией, относительно фактической конструкции.

$$\Delta N_{н/ф} = 787500 - 637269 = 359700$$

Таким образом, условный экономический эффект составляет:

$$\text{ЭЭ} = \Delta N_{н/ф} * \Delta C, \quad (6)$$

где ЭЭ – условный экономический эффект.

$$\text{ЭЭ} = 359700 * 0,66 = 237402 \text{ руб.}$$

На сегодняшний день среднемесячный план по производству отливки № 7405-1118090 «Колесо турбины» составляет 8 тыс. штук. Получаем:

$$PP = \frac{KO}{\Delta C * P_{мес}}, \quad (7)$$

где KO – сумма вложенных средств, которая составляет 22 000 руб.;

ΔC – разница в стоимости оснастки с измененной конструкцией, относительно фактической конструкции;

$P_{мес}$ – среднемесячный план отливок, который составляет 8 000 штук.

$$PP = \frac{2200}{0,66 * 8000} = 4,2 \text{ мес.}$$

На основании полученных результатов, составим итоговую таблицу сравнения 1.

Таблица 1

Итоговая таблица сравнения

Показатели	До внедрения	После внедрения
Цена п/ф Сп/ф	637 269 руб.	659 269 руб.
Сред. кол-во съёмов Нп/ф	427 800 съёмов	787 500 съёмов
Сумма вложенных средств КО	22 000 руб. за садку	
Стоимость оснастки в ценоприменения отливки Со	1,5 руб.	0,84 руб.
$\text{ЭЭ} = \Delta N_{п/ф} * \Delta C_o$		- 237 402 руб.
Цена отл. Сотл	3 176,62 руб.	3 175,96 руб.
Окупаемость проекта, РР	4,2 месяца	

Выводы. 1. На основании теоретических данных и теоретически прогнозируемого результата, данное изменение конструкции позволяет снизить цену оснастки в цене отливки на 0,66 руб. и получить условный экономический эффект 237 402 руб. Срок окупаемости проекта составит 4,2 месяца.

2. Опыт применения программы Unigraphics NX 9.0 модуль «Расширенная симуляция» показывает, что она является одной из ведущих систем численного инженерного анализа, предлагает набор инструментов и функций для выполнения численного анализа любой степени

сложности, может быть полезен инженерам, работающим в области проектирования различного рода приспособлений, технологической оснастки и так далее.

Л и т е р а т у р а

1. Исследование компрессорной и турбинной частей турбокомпрессора с общим рабочим колесом для применения в малоразмерных газотурбинных двигателях / В. А. Шкабура // *Авиационно-космическая техника и технология*. - 2016. - № 8. - С. 42–45.

2. Формирование геометрической модели рабочего колеса турбокомпрессора/ Е.А. Гавриленко // *Праці ТДФТУ* – 2016. - №14, Т.2 – С. 48-53.

3. Свечников А. А. Повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессора дизеля 10Д100 // *Молодой ученый*. — 2015. — №22. — С. 182-185.

R e f e r e n c e s

1. Issledovanie kompressornoj i turbinnoj chastej turbokompressora s obshhim rabochim kolesom dlja primenenija v malorazmernih gazoturbinnyh dvigateljah / V. A. Shkabura // *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija*. - 2016. - № 8. - S. 42–45.

2. Formirovanie geometricheskoj modeli rabocheho kolesa turbokompressora/ E.A. Gavrilenko // *Praci TDFTU* – 2016. - №14, T.2 – S. 48-53.

3. Svechnikov A. A. Povyshenie jekspluatacionnoj nadezhnosti turbokompressora dizelja 10D100 // *Molodoj uchenyj*. — 2015. — №22. — S. 182-185.

Stikhnin E.V.

INCREASING THE DURABILITY OF TECHNOLOGICAL TOOLING FOR RECEIVING THE WHEEL OF TURBINE CASTING.

When studying the technological process of producing castings “Turbine Wheel” on a KAMAZ vehicle of the 7405 and 7403 series (and interchangeable units) a bottleneck was revealed. The casting was made by the casting technology - by investment casting. The main tool is the tooling - a mold, the design life of which is 450,000 removals. In fact, the rigidity of the rigging was 250,000 - 270,000. As a result of in-depth study of the form design using the “5 why?” Technique, weak points were identified. Two hypotheses are proposed, one of which is introduced into production and is working out a pilot industrial batch.

Стихнин Евгений Васильевич, магистрант, Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета,
E-mail: Stihnin.e@yandex.ru.

Stikhnin Evgenij Vasil'evich, master student, NaberezhnyeChelny Institute (branch), Kazan Federal University,
E-mail: Stihnin.e@yandex.ru.

Рецензент: Хисамутдинов Равиль Миргалимович, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Конструкторско-технологическое обеспечения машиностроительных производств» Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета

Статья подана 14.03.2019

УДК 621.333

РАБОТА СИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ГЕНЕРАТОРА В РЕЖИМЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПУСКЕ ДИЗЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА

Тасанг Э.Х., Чальцев М.Н., Игнатьев О.Л., Ямщикова Л.Ю.

OPERATION OF THE SYNCHRONOUS TRACTION GENERATOR IN THE MODE OF THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR AT LAUNCH OF THE DIESEL OF LOCOMOTIVE

Tasang E.H., Chalcev M.N., Ignatyev O.L., Yamshchikova L.Yu.

Предложена система запуска дизеля тепловоза от тягового синхронного генератора, работающего в режиме асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, с питанием от аккумуляторной батареи.

Определен пусковой момент сопротивления дизель-генератора и расчет электромагнитного момента СГ, работающего в режиме асинхронного электродвигателя, при частотном пуске с постоянным напряжением на выходе АИ.

Разработанная система позволяет избавиться от электрической машины – стартера, улучшить процесс запуска дизеля и уменьшить разрядной ток аккумуляторной батареи.

Ключевые слова: Тепловоз, дизель, генератор, параметры, состав, система управления, тяговой генератор, тиристорный инвертор, тиристор, механические характеристики, асинхронный электродвигатель, частотное управление, электромагнитный момент.

Введение. Одним из перспективных способов запуска дизеля тепловозов с передачей мощности переменного-постоянного и переменного тока является его запуск от собственного тягового синхронного генератора (СГ) переменного тока [1]. При этом напряжение аккумуляторной батареи через трёхфазный автономный инвертор (АИ) с выходной частотой 2...20 Гц подводится к двум трехфазным обмоткам статора тягового генератора (рисунок 1), а обмотка возбуждения СГ замыкается на разрядной резистор.

Целью настоящей статьи является определение пускового момента сопротивления дизель-генератора и расчет электромагнитного момента СГ, работающего в режиме асинхронного электродвигателя, при частотном пуске с постоянным напряжением на выходе АИ и при изменении относительного напряжения на

генераторе $\gamma = \sqrt{\alpha}$, где α – относительная частота напряжения питания СГ.

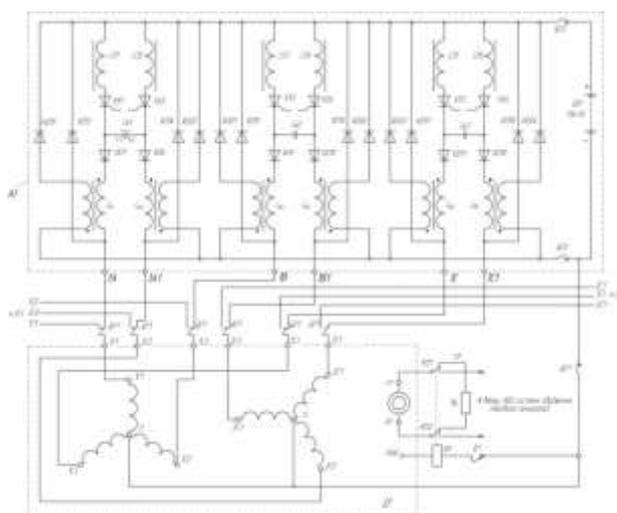


Рис. 1. Принципиальная силовая схема трехфазного инвертора напряжения для запуска дизеля: G1 (СГ) – синхронный генератор; ВУ – выпрямительная установка;

GB1 – аккумуляторная батарея; UZ1 – трехфазный автономный инвертор; UBB – управляемый выпрямитель обмотки возбуждения СГ; QF1 – переключатель режима “Двигатель – Генератор”; K1 – контактор переключения возбуждения генератора; QF3 – автоматический выключатель нулевого провода СГ; K2 – пусковой контактор; R_ш – шунтирующий резистор

Пусковые качества двигателя, согласно ОСТ 37.001.052-75, определяются средним давлением трения деталей дизеля и минимальной пусковой частотой вращения коленчатого вала. Пусковые качества двигателя оценивают также предельной температурой надёжного пуска и временем подготовки двигателя к принятию нагрузки. Для дизеля типа 5Д49 максимально допустимое время

выхода дизеля на пусковую частоту вращения $n_n = 100$ об/мин $t_3 = 9$ с [2, 3]. Минимальная пусковая частота дизеля $n_{п.мин}$ зависит от следующих факторов: числа и расположения цилиндров, температуры пуска, качества топлива, вязкости масла при заданной температуре пуска, фаз газораспределения, цикловой подачи топлива, от применяемых средств облегчения запуска.

Для расчета системы запуска в первую очередь необходимо определить начальный момент сопротивления дизеля $M_{с.д.}$, который можно определить по формуле [2]:

$$M_{с.д.} = \frac{p_{т.ср} \cdot V_h}{125,4}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1)$$

где $p_{с.ср}$ – условное среднее давление внутренних потерь в двигателе, определяется по ГОСТ14846-81 по формуле $p_{т.ср} = m_v \cdot m_n \cdot p_t$, Н/м^2 , где $m_v = 0,95$ – коэффициент, учитывающий изменение среднего давления трения от вязкости масла; $m_n = 1,0$ – коэффициент, учитывающий изменение среднего давления трения при частоте пуска дизеля, отличной от 100 об/мин; $p_t = 2400 \text{ Н/м}^2$ – среднее давление трения внутренних потерь, для 16-цилиндрового двигателя 16 ЧН 26/26 $p_{т.ср} = 2185 \text{ Н/м}^2$; $V_h = 220,9 \text{ л}$ – рабочий объём всех цилиндров. Рассчитанный пусковой момент сопротивления дизеля составил $M_{с.д.} = 3850 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Более точное значение момента сопротивления дизеля совместно с ротором тягового СГ (дизель-генератора $M_{с.дг.}$) найдем из данных по исследованию системы электростартерного пуска дизель-генератора 1А-9ДГ с дизелем типа 5Д49 опытного тепловоза 2ТЭ116 с применением импульсных накопительных конденсаторов сверхвысокой емкости [3].

На рисунке 2 приведен переходный процесс изменения тока стартера $I_{ст.}$, момента $M_{ст.}$, развиваемого стартером, и частоты вращения вала дизеля n_d .

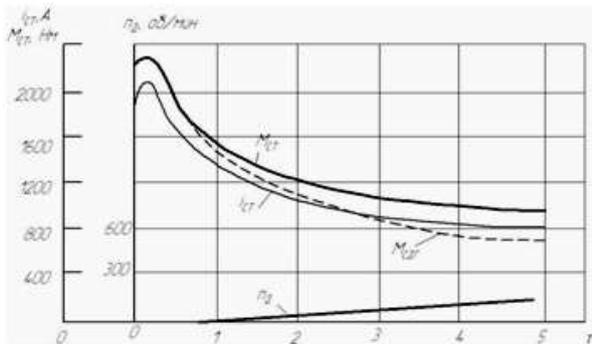


Рис. 2. Переходный процесс электростартерного запуска дизеля тепловоза 2ТЭ116 для $M_{ст.}$, развиваемого стартером, и частоты вращения вала дизеля n_d

Момент сопротивления дизель-генератора 1А-9ДГ $M_{с.дг.}$, приведенный к валу стартер-генератора, определим из уравнения движения электропривода [3]:

$$\frac{d\omega_d}{dt} = \frac{M_{ст.} - M_{с.дг.}}{J}, \quad (2)$$

где $\omega_d = \pi \cdot n_d / 30$ – круговая частота вращения коленчатого вала дизель-генераторной установки; $J = m\rho^2 = 66,4 \text{ кгм}^2$ – приведенный момент инерции движущихся масс системы "С-Г- ДГ", отнесенный к валу стартера, при температуре 45°C . Разделив в уравнении (2) переменные и интегрируя полученное равенство определим момент сопротивления

$$M_{с.дг.}: M_{с.дг.} = M_{ст.} - \omega_d J / t, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3)$$

Здесь: $M_{ст.} = k_1 \cdot i_{ст.}$, т.к. $M_{ст.} = c_m \Phi I_{ст.}$; $k_1 = 1,114$ – коэффициент пропорциональности [3].

Задаваясь произвольно значениями времени от $t = 0,2$ с до $t = 4$ с из графика переходного процесса (рисунок 2) определяем значения $I_{ст.}$, n_d .

Значения момента сопротивления $M_{с.дг.}$ наносим на график (рисунок 2). Как видно из рисунка, моменты развиваемые стартером и сопротивления дизель-генератора практически повторяют кривую изменения тока стартера. Момент сопротивления дизель-генератора $M_{с.дг.}$ определим с учетом передаточного отношения зубчатого редуктора ($i_p = n_{ст.}/n_d = 2$).

Ввиду отсутствия всех данных по тяговому СГ ГС-501А, работающему в режиме асинхронного электродвигателя, расчет электромагнитного момента синхронного генератора при его частотном пуске и питании от постоянного напряжения на выходе инвертора, проводим по приближенным формулам.

Рассмотрим прямой пуск дизель - генератора от полного напряжения аккумуляторной батареи УБА, т.е. при нерегулируемом по напряжению инверторе, при минимальной частоте на выходе инвертора $f_{1мин} = 5$ Гц. Максимальный (опрокидывающий) момент $M_{макс.}$, развиваемый ротором СГ в двигательном режиме, определяется при минимальной пусковой частоте на выходе АИ $f_{1мин} = 5$ Гц, которая выбрана из условия обеспечения необходимого пускового момента $M_p > M_{с.дг.}$

Максимальный электромагнитный момент $M_{макс}$ определяется по известной формуле [4, 5]:

$$M_{макс} = \frac{p \cdot m \cdot U_1^2}{4\pi \cdot f_1 (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2})}, \quad (4)$$

где $p = 6$ – число пар полюсов СГ; $m = 3$ – число фаз обмотки статора; U_1 – действующее значение фазного напряжения на фазных обмотках СГ. Для

применяемого инвертора при его прямоугольной форме выходного напряжения с учётом падения напряжения в батарее принято $U_1 = U_{БА} = 60В$; $R1 \approx 0,00115 \text{ Ом}$ – приведенное сопротивление одной фазы статорной обмотки при $t_n = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; X_k – приведенное индуктивное сопротивление короткого замыкания статора и ротора (здесь взяты данные по тяговому генератору ГС-504, тепловоза ТЭ120), $X_k = X'd = 0,072 \text{ Ом}$. Полученный максимальный момент составил $M_{\text{макс}} = 14,098 \text{ кНм}$.

Номинальный момент сопротивления дизеля при $f_1 = 5 \text{ Гц}$ и соответственно при оборотах ротора (скольжение ротора $s = 0,08$) $n_{cr} = 60f_1(1-s) / p = 46$, об/мин составляет $\approx 2060 \text{ Н}\cdot\text{м}$, а кратность перегрузочного момента $\lambda = 6,84$.

При осуществлении частотного управления предполагается управление по основному закону частотного регулирования с корректировкой по абсолютному скольжению ротора, для которого характерно $\beta = \beta_n = 0,02 = \text{const}$ [4]. Здесь и в дальнейшем принято: $\beta = f_2 / f_{1n}$ – параметр абсолютного скольжения тока ротора; $f_2 = 0,4 \text{ Гц}$ – частота тока ротора; $f_{1n} = 20 \text{ Гц}$ – номинальная частота тока статора; $\alpha = f_1 / f_{1n} = 0 \dots 1$; $f_1 = 5 \dots 20 \text{ Гц}$ – текущая частота инвертора; $s = \beta / \alpha$ – скольжение ротора.

Основные расчетные данные получим по вышеприведенным формулам при пуске от полного не изменяющегося напряжения $U_1 = U_{БА} = 60В$ и различных частотах f_1 на выходе АИ. Электромагнитная мощность $P_{эм}$ пропорциональна электромагнитному моменту $M_{эм} = M' \cdot s \cdot d$ и равна $P_{эм} = M_{эм} \cdot n / 9,55$, кВт. Зная кратность перегрузочного момента λ и номинальное скольжение s_n двигателя при различных частотах f_1 можно по преобразованной формуле Клосса [5] определить критическое скольжение s_m , соответствующее $M_{\text{макс}}$:

$$(1 + 2s - 2\lambda \cdot s) s_m^2 - 2\lambda \cdot s \cdot s_m + s^2 = 0. \quad (5)$$

Например, при номинальной частоте $f_{1n} = 20 \text{ Гц}$; $s_n = 0,02$; $\lambda = 2,35$; $s_m = 0,095$.

Теперь, зная скольжение $s_m = 0,095$, по общеизвестной формуле Клосса [5] определим величину электромагнитного момента $M_{эм}$ при любых произвольно заданных скольжениях $s = 0 \dots 1,0$.

В результате расчета $M_{эм} = f(s)$ и чисел оборотов $n_{дт}$ при различных частотах $f_1 = 20, 15, 10$ и 5 Гц получены механические характеристики СГ приведенные на рисунке 3.

По методике изложенной ранее, определим электромагнитный момент СГ при его частотном управлении по основному закону, т.е. при $U_1 / U_{1n} = \sqrt{f_1 / f_{1n}}$ или $\gamma = \sqrt{\alpha}$, где $U_1 / U_{1n} = \gamma$ – относительное изменение подводимого напряжения;

$U_{1n} = 60 \text{ В}$ – действующее значение номинального напряжения на выходе АИ, равное расчетному напряжению аккумуляторной батареи; $f_{1n} = 20 \text{ Гц}$ – номинальная выходная частота АИ.

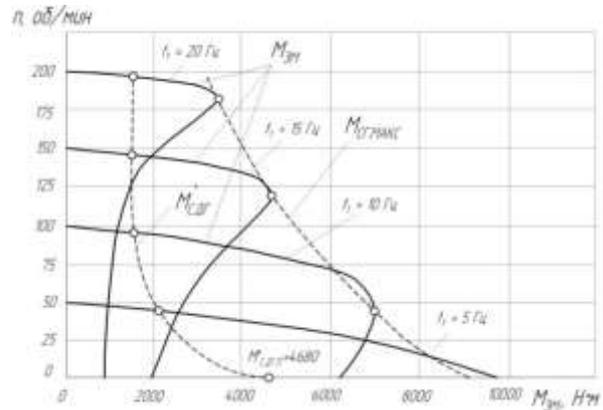


Рис. 3. Механические характеристики СГ при различных частотах f_1 и $U_1 = U_{БА} = 60В$

Первоначально определим максимальный электромагнитный момент $M_{эм, \text{макс}}$ при различных значениях питающего напряжения U_1 . Затем определяем кратность перегрузочного момента λ и электромагнитную мощность $P_{эм}$. В дальнейшем, зная кратность перегрузочного момента λ и номинальное скольжение СГ s_n , определим критическое скольжение s_m , а зная его, определим величину электромагнитного момента $M_{эм}$. В результате расчетов получим механическую характеристику СГ, работающего в режиме АД при частотном управлении по закону $\gamma = \sqrt{\alpha}$ и $\beta = \beta_n = 0,02 = \text{const}$ (рисунок 4).

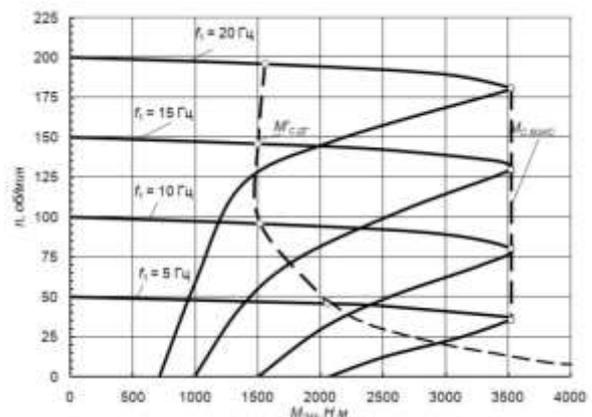


Рис.4. Механические характеристики СГ при частотном управлении по зависимости $\gamma = \sqrt{\alpha}$ и $\beta = \beta_n = \text{const}$

Анализируя полученные механические характеристики (рисунки 3 и 4) можно отметить следующее:

– при управлении СГ при неизменном подводимом напряжении $U_1 = 60В = \text{const}$ и $\beta = \beta_n =$

const при увеличении частоты f_1 критическое скольжение двигателя уменьшается, уменьшается и кратность перегрузочного момента λ , а огибающая максимальных моментов СГ в некоторой степени повторяет кривую нагрузочного момента сопротивления дизель-генератора $M'_{с.дг.}$. Пусковой момент СГ при минимальной пусковой частоте $f_1 = 5$ Гц составляет 9,95 кН·м, что в 2,13 раза больше, чем момент сопротивления дизель-генератора при трогании $M'_{с.дг.тр} = 4,68$ кН·м;

– при изменении напряжения на выходе АИ по закону $\gamma = \sqrt{\alpha}$ и поддержании $\beta = \beta_n = 0,02 = const$ максимальный крутящий момент остается неизменным при изменении частоты f_1 ($M_{сг.макс} = 3525$ Н·м). Пусковой момент СГ при минимальной пусковой частоте $f_1 = 5$ Гц составляет 2064 Н·м, что недостаточно для пуска дизель-генератора ($M'_{с.дг.тр} = 4,68$ кН·м), поэтому для его увеличения при пуске дизеля необходимо уменьшить частоту на выходе АИ до $f_1 = 2$ Гц и произвести корректировку напряжения на выходе АИ. Это в свою очередь требует усложнения силовой схемы и системы управления АИ для осуществления широтно-импульсного регулирования.

Вывод. В связи с изложенным, более предпочтительной и простой является система управления СГ с неизменным подводимым напряжением к его фазным обмоткам, но окончательный вывод можно сделать только после определения и расчёта пусковых токов СГ и аккумуляторной батареи.

Л и т е р а т у р а

1. Электрические машины и электрооборудование тепловозов / Под ред. Е. Я. Гаккель. – М.: Транспорт, 1981. – 256 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания / Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
3. Применение импульсных конденсаторов сверхвысокой энергоёмкости в системах электростартерного пуска дизель-генераторных установок / В. А. Кошевой, А. Н. Корнев, Л. И. Поляшов, Н. И. Радионов // Вестник ВНИИЖТ, 1966. №1. С. 35–39.
4. Грузов В. Л., Сабинин Ю. А. Асинхронные маломощные приводы со статическими преобразователями. – Л.: Энергия, 1970. – 136 с.
5. Кулик Ю. А. Электрические машины. – М.: Высш. шк., 1971. – 456 с.

References

1. Jelektricheskie mashiny i jelektrrooborudovanie teplovozov / Pod red. E. Ja. Gakkel'. – М.: Transport, 1981. – 256 s.
2. Dvigateli vnutrennego sgoranija / Pod red. A. S. Orlina, M. G. Kruglova. – М.: Mashinostroenie, 1983. – 372 s.
3. Primenenie impul'snyh kondensatorov sverhvysokej jenergojomkosti v sistemah jelektrrostarternogo puska dizel'-generatornyh ustanovok / V. A. Koshevoj, A. N. Kornev, L. I. Poljashov, N. I. Radionov // Vestnik VNIIZhT, 1966. №1. S. 35–39.

4. Gruzov V. L., Sabinin Ju. A. Asinhronnye malomoshnyye privody so staticheskimi preobrazovateljami. – L.: Jenergija, 1970. – 136 s.

5. Kulik Ju. A. Jelektricheskie mashiny. – М.: Vyssh. shk., 1971. – 456 s.

Tasang E.H., Chalcev M.N., Ignatyev O.L., Yamshchikova L.Yu.

OPERATION OF THE SYNCHRONOUS TRACTION GENERATOR IN THE MODE OF THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR AT LAUNCH OF THE DIESEL OF LOCOMOTIVE

The locomotive diesel starting system from the traction synchronous generator working in the mode of the asynchronous electric motor with short-circuited rotor, with battery supply is offered.

The starting moment of resistance of the diesel generator and the calculation of the electromagnetic moment of the SG working in the mode of the asynchronous electric motor at frequency start-up with dc voltage at AI exit is defined.

The developed system allows to get rid of the electrical machine – the starter, to improve process of start of the diesel and to reduce digit current of the rechargeable battery.

Key words: Locomotive, diesel, generator, parameters, structure, control system, traction generator, thyristor inverter, thyristor, mechanical characteristics, asynchronous electric motor, frequency steering, electromagnetic moment.

Тасанг Эрик Хельмутович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: tasang@mail.ua

Tasang Erik Helmutovich, senior teacher of the «Railway transport», State educational establishment of higher professional education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: tasang@mail.ua

Чальцев Михаил Николаевич, профессор кафедры «Железнодорожный транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Chaltcev Mikhail Nikolaevich, professor of the «Railway transport», State educational establishment of higher professional education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Игнатьев Олег Леонидович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство», (ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет подвижного состава», г. Ростов-на-Дону.

E-mail: vvh@rgups.ru

Ignatyev Oleg Leonidovich, candidate of technical sciences, associate professor, Department of Cars and Carriage Economy, Rostov state transport university.

e-mail: vvh@rgups.ru

Ямщикова Лолита Юрьевна, студент магистратуры кафедры «Железнодорожный транспорт»

ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Yamschikova Lolita Yuryevna, graduate student of the «Railway transport», State educational establishment of higher professional education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Рецензент: Замота Т.Н., доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленного и городского транспорта» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 26.02.2019

УДК 621.43

К ОПТИМИЗАЦИИ ЦИКЛОВОЙ ПОДАЧИ ТОПЛИВА ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Тырловой С.И., Доценко Д.М.

FOR OPTIMIZATION OF CYCLIC SUPPLY OF FUEL OF TRANSPORT DIESELS DEPENDING ON CLIMATIC CONDITIONS OF OPERATION

Tyrlovoy S.I., Dotsenko D.M.

Представлено устройство для оптимизации цикловой подачи топлива дизелей на режимах максимального крутящего момента и пуска, разработана методика, позволяющая определить конструктивные параметры предложенных устройства при переходных режимах дизеля. Показано, что для корректоров действия удовлетворительное качество переходных процессов возможно обеспечить без усложнения конструкции автоматического устройства. Полученные результаты позволяют заключить, что при должном выборе параметров корректора удается обеспечить удовлетворительные динамические качества автомобильного дизеля без усложнения конструкции примененного корректора максимальной топливоподачи, который в свою очередь позволяет улучшить эксплуатационные показатели двигателя.

Ключевые слова: цикловая подача топлива, переходные процессы, атмосферные условия эксплуатации.

Введение. Коррекция цикловой подачи топлива в зависимости от климатических условий на режиме максимального крутящего момента способствует снижению эксплуатационного расхода топлива, улучшению экологических и динамических показателей двигателя. При коррекции топливоподачи на стартерных режимах уменьшается износ системы пуска и дымление дизеля. Поэтому разработка и применение таких устройств целесообразны и экономически обоснованы при условии их невысокой стоимости и надежности в эксплуатации. В настоящей статье приведены методика и результаты исследования динамических качеств названного корректора.

Изложение основного материала. Вариант устройства системы коррекции показан на рис.1. Герметичная полость 1 заполнена сухим воздухом с заданными параметрами. В работах [1, 2, 3] описан принцип действия и конструкция и расчет

аналогичных устройств. При установившихся режимах двигателя закон перемещение штока корректора полностью описывается уравнениями статического равновесия, выведенными в работе [1]. В случаях пуска, наброса нагрузки, сброса нагрузки и окончании режима пуска шток корректора подвергается возмущающим воздействиям со стороны рейки топливного насоса высокого давления.

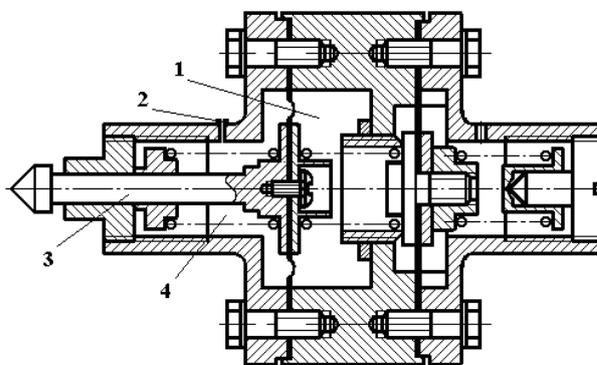


Рис. 1. Корректор максимальной топливоподачи прямого действия 1 – измерительная герметичная полость; 2 – дроссель; 3 – шток; 4 – пружина

Здесь возникают колебательные или аperiodические движения штока корректора, которые при значительной амплитуде и времени существования могут отрицательно повлиять на показатели дизеля как при установившихся режимах, так и при переходных процессах.

Поэтому важной задачей разработки данного корректора является обеспечение малых амплитуд и продолжительности переходных процессов штока измерителя при различных возмущающих воздействиях. Эта задача может быть решена только при должном выборе конструктивных параметров корректора, в том числе масс движущихся

элементов, жесткости пружин, геометрических размеров полостей измерителя, параметров системы демпфирования хода штока, устанавливаемой в случае необходимости. Ниже приведена разработанная математическая модель динамики корректора максимальной топливоподачи.

Уравнение динамики штока измерителя:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = P_X \cdot F - P \cdot F - C \cdot X - C \cdot X_{II} - S_{TP} - S_V \quad (1)$$

где m – масса подвижных деталей корректора, S_{TP} , S_V – силы сухого и вязкостного трения, приведённые к штоку измерителя.

Сила сухого трения S_{TP} считается постоянной, определяемой по моменту страгивания штока при воздействии на него осевой силы. Сила S_{TP} в значительной мере определяет степень нечувствительности данной конструкции измерителя, поэтому ее величина в выполненных конструкциях пренебрежительно мала (0,01 – 0,025 Н) по сравнению с силами упругости пружин (40 – 100 Н) и давления воздуха в камере 1 (см. рис. 1).

Поэтому отсутствие демпфирования при возмущениях, возникающих от ударов рейки топливного насоса по штоку корректора, приводит к колебательным движениям штока в случаях разгона дизеля. Применение специальных устройств типа катаракта, обеспечивающие высокие S_V , позволяет осуществить эффективное демпфирование хода штока, однако это решение приводит к существенному усложнению конструкции и увеличению габаритов.

В предложенном корректоре (см. рис. 1) установка отдельного демфера не предусмотрена. Проведенные исследования показали, что роль демфера может выполнять полость 3 корректора, соединенная с атмосферой, при должном выборе определенных параметров. Наиболее важным параметром в этом случае является проходное сечение отверстия 4. Его специальная калибровка обеспечивает появление демпфирующего эффекта при движении штока.

Для моделирования перетекания воздуха через дроссель 4 применен метод объемного баланса проф. Глаголева Н.М. Теплообмен при поступлении атмосферного воздуха в полость корректора и обратно не учитывался, поскольку разница температур корпуса корректора и окружающей среды незначительна. В этом случае давление в негерметичном корпусе корректора описывается следующими уравнениями.

При поступлении воздуха из атмосферы в корпус:

$$p_b = p_0 + \frac{k \cdot p_b}{V_b} \cdot (d_s V + dV), \quad (2)$$

где k – показатель адиабаты; p_b и V_b – давление и объем дросселируемой полости корректора;

$$d_s V = \mu_s \cdot f_s \sqrt{2 \cdot R \cdot T_0 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_b}{p_0} \right) \cdot \frac{k-1}{k} \right] \cdot \frac{p_0}{p_b}} \cdot dt;$$

$$dV = a \cdot y \cdot dt, \quad V_b = V_{нб} - a \cdot x,$$

$$T_b = T_0 \cdot \left(\frac{p_b}{p_0} \right) \cdot \frac{k-1}{k};$$

y – скорость штока; a – коэффициент изменения объема полости корректора; $V_{нб}$ – начальный объем полости корректора (в состоянии покоя).

При выходе воздуха из корпуса в атмосферу:

$$p_b = p_b + \frac{k \cdot p_b}{V_b} \cdot (-d_0 V + dV) \quad (3)$$

где

$$d_0 V = \mu_s \cdot f_s \sqrt{2 \cdot R \cdot T_b \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_0}{p_b} \right) \cdot \frac{k-1}{k} \right]} \cdot dt.$$

Тогда переходные процессы корректора будут описываться уравнениями (1 – 3). Для моделирования переходных процессов двигателя добавляются уравнения динамики объекта регулирования и регулятора частоты вращения, а, также, условия взаимосвязи рейки ТНВД со штоком корректора.

Результаты исследований. При переходных процессах разгона и приема нагрузки двигателем рейка ТНВД ударяет по штоку корректора, что выводит шток из состояния равновесия. Параметры дросселя влияют на последующее движение. На рис. 2а, 2б и 3 приведены результаты моделирования переходных процессов корректора при различных параметрах дросселя для режима трогания автомобиля с места на 1-й передаче.

Здесь возможны ярко выраженные колебательные процессы штока корректора и, соответственно, рейки топливного насоса, что приводит к рывкам автомобиля, повышенным износам подушек крепления двигателя и элементов трансмиссии, возможно появление автоколебаний и резкое ухудшение динамических показателей автомобиля.

При установке дросселя в полости корректора чрезмерно малого сечения ($f_{др} = 1 \text{ мм}^2$) частота колебаний уменьшается, но растет их амплитуда (см. рис. 2а), что также не позволяет получить удовлетворительных показателей переходного процесса разгона.

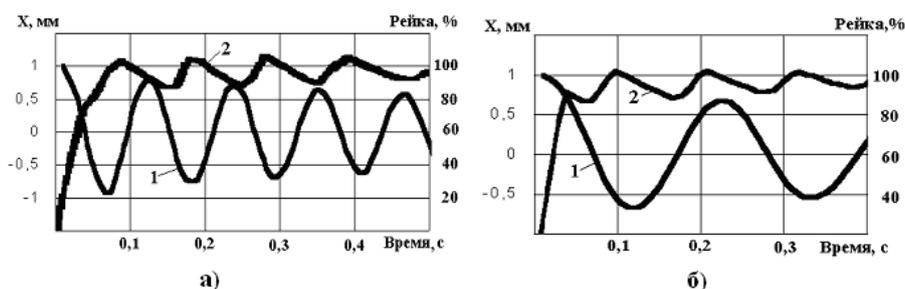


Рис. 2. Перемещение штока и рейки топливного насоса при малом (а - $f_{др}=100\text{мм}^2$) и большом (б - $f_{др}=1\text{мм}^2$) дросселировании полости корректора для случая трогания с места автомобиля МАЗ-500 на 1-й передаче.
1 - шток корректора; 2 - рейка ТНВД

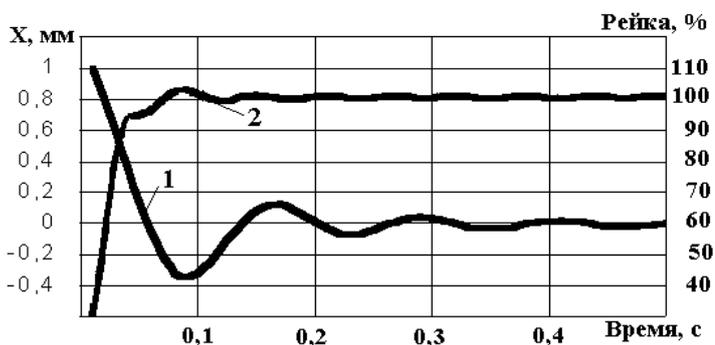


Рис. 3. Перемещение штока и рейки топливного насоса при оптимальном дросселировании полости корректора ($f_{др}=10\text{мм}^2$)

Выводы. Результаты моделирования показали, что существует оптимальная величина дросселирования (8 – 11 мм^2), при которой переходной процесс штока корректора становится близким к аperiодическому, а колебания рейки ТНВД практически отсутствуют при разгоне автомобиля (см. рис. 3).

Полученные результаты позволяют заключить, что при должном выборе параметров корректора удастся обеспечить удовлетворительные динамические качества автомобильного дизеля без усложнения конструкции примененного корректора максимальной топливоподачи, который в свою очередь позволяет улучшить эксплуатационные показатели двигателя.

Л и т е р а т у р а

1. Тырловой С. И. Выбор оптимальной величины пусковой подачи топлива транспортных дизелей при эксплуатации в различных климатических условиях. Вестник СУДУ.– 1999, № 1 (17). –С. 153-156.
2. Конструктивные отличия и особенности технической эксплуатации ДВС в условиях стран Азии, Африки и Латинской Америки. Основы климатической приспособляемости ДВС.- Ч.1/ Под ред. А.Ф.Шеховцова.- К.: УМК ВО, 1988. - 236 с.
3. Крутов В. И. Автоматическое регулирование и управление ДВС. - М. : Машиностроение, 1989. - 416 с.

R e f e r e n c e s

1. Tyrlovoj S. I. Vybora optimal'noj velichiny puskovoj podachi topliva transportnyh dizelej pri jeks-pluatacii v

razlichnyh klimaticheskikh uslovijah. Vistnik SUDU.– 1999, № 1 (17). –S. 153-156.

2. Konstruktivnye otlichija i osobennosti tehniche-skoj jekspluatacii DVS v uslovijah stran Azii, Afriki i Latinskoj Ameriki. Osnovy klimaticheskoy prispособ-ljaemosti DVS.- Ch.1/ Pod red. A.F.Shehovcova.- K.: UМК VO, 1988. - 236 s.

3. Krutov V. I. Avtomaticheskoe regulirovanie i upravlenie DVS. - M. : Mashinostroenie, 1989. - 416 s.

Tyrlovoj S.I., Dotsenko D.M.

FOR OPTIMIZATION OF CYCLIC SUPPLY OF FUEL OF TRANSPORT DIESELS DEPENDING ON CLIMATIC CONDITIONS OF OPERATION

A device is presented for optimizing the cycle fuel supply of diesel engines at maximum torque and start-up modes, a technique has been developed that allows determining the design parameters of the proposed device during diesel transient conditions. It is shown that for correctors of action it is possible to ensure satisfactory quality of transients without complicating the design of an automatic device. The obtained results allow us to conclude that with a proper choice of corrector parameters, it is possible to ensure satisfactory dynamic qualities of a diesel engine without complicating the design of the applied maximum fuel delivery equalizer, which in turn allows improving engine performance.

Keywords: cyclic fuel supply, transient processes, atmospheric operating conditions.

Тырловой Сергей Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: tyrlovoy.si@mail.ru

Tyrlovoy Sergey Ivanovich, candidate of Sciences, a dosent of the Chair «Internal combustion engines», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: tyrlovoy.si@mail.ru

Доценко Данил Михайлович, ассистент кафедры "Двигатели внутреннего сгорания", ГОУ ВПО ЛНР "Луганский национальный университет имени Владимира Даля".

E-mail: danil-docenko@mail.ru

Dotsenko Danil Mikhailovich, a chair assistant of the "Internal combustion engines" State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: danil-docenko@mail.ru

Рецензент: Куликов Юрий Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 30.03.2019

УДК 62. 52

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДАТЧИКА РАСХОДА ТОПЛИВА

Ивченко Т.Б., Чернобаева Ю.Ю.

CONDUCTING EXPERIMENTAL RESEARCH OF FUEL FLOW SENSOR

Ivchenko T.B., Chernobaeva Yu.Yu.

Приведена методика исследований определения остатка топлива в баке автомобиля. В основу лабораторных испытаний положен принцип подбора топливного бака автомобиля.

Ключевые слова: уровень топлива, диэлектрическая проницаемость, емкостной преобразователь, влагосодержание.

Введение. После анализа и изучения теоретических данных, обзора существующих датчиков и обоснования неэффективности их использования при анализе топлива на соответствие стандарту качества, была предложена конструкция преобразователя (рис.1), которая будет соответствовать всем требованиям, выдвигаемым к датчикам такого типа [1].

Целью данной работы является создание датчика для повышения точного измерения расхода топлива.

Чувствительный элемент емкостного преобразователя представляет собой цилиндрический конденсатор с внутренней обкладкой 1 и внешней 2. Между внешней обкладкой и внутренней находится слой топлива, уровень которой необходимо измерить [2]. Если уровень топлива в баке изменяется, то будет изменяться и емкость конденсатора вследствие того, что диэлектрические постоянные жидкости и воздуха различны.

Преобразователь для измерения диэлектрической проницаемости 3 измеряет емкость топлива, далее переводит значение емкости в цифровой код, который соответствует определенному значению диэлектрической проницаемости вещества [3]. Так как каждое вещество имеет свою диэлектрическую проницаемость, имея расчетные данные зависимости диэлектрической проницаемости вещества от его объема можно получить данные о том, какие присадки и в каком количестве были добавлены в топливо.

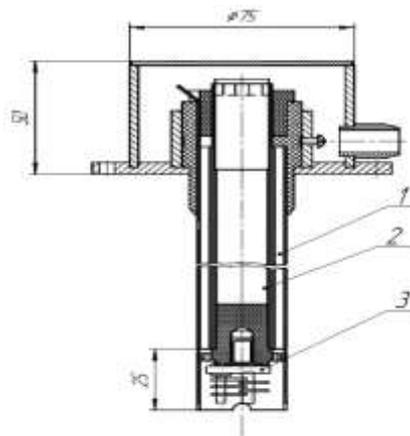


Рис.1. Конструкция емкостного преобразователя:
1 – внешняя обкладка конденсатора,
2 – внутренняя обкладка, 3 – емкостной преобразователь для измерения ϵ топлива

Для вывода зависимости между уровнем топлива в баке и емкостью датчика введем следующие обозначения (рис.2):

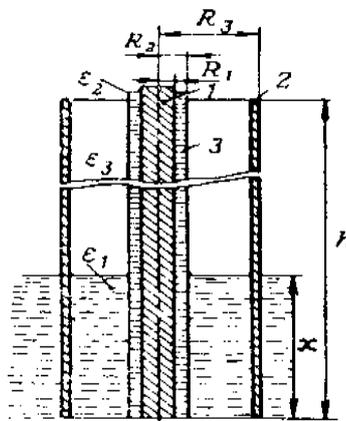


Рис. 2. Определение емкости конденсатора расчетным способом:

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ — диэлектрические постоянные жидкости, материала изолятора и смеси паров жидкости и воздуха соответственно; R_1, R_2, R_3 — радиусы внутреннего

электрода, изолятора и внешнего электрода; x — уровень жидкости; h — полная высота датчика.

Формула для определения емкости цилиндрического конденсатора имеет вид:

$$C = \frac{2\pi \cdot \epsilon \epsilon_0 \cdot l}{\ln(R_2 / R_1)} \tag{1}$$

Если пренебречь конечным эффектом, то можно принять, что емкость нижней части цилиндрического конденсатора будет

$$C_x = \frac{x}{2 \left[\frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{R_2}{R_1} \right]} \tag{2}$$

Подобно этому емкость верхней части конденсатора найдем из соотношения

$$C_h = \frac{h-x}{2 \left[\frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\epsilon_3} \ln \frac{R_3}{R_2} \right]} \tag{3}$$

Суммируя емкости C_x и C_h , получим полную емкость конденсатора:

$$C = \frac{x}{2} \left[\frac{1}{\left[\frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{R_2}{R_1} \right]} - \frac{1}{\left[\frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\epsilon_3} \ln \frac{R_3}{R_2} \right]} \right] + \frac{h}{2} \frac{1}{\left[\frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\epsilon_3} \ln \frac{R_3}{R_2} \right]} \tag{4}$$

Из этого выражения следует, что емкость конденсатора является линейной функцией уровня жидкости x . Таким образом, измерение уровня жидкости сводится к измерению емкости конденсатора C .

Чувствительность емкостного датчика определяется выражением

$$\frac{dC}{dx} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\left[\frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{R_2}{R_1} \right]} - \frac{1}{\left[\frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\epsilon_3} \ln \frac{R_3}{R_2} \right]} \right] \tag{5}$$

Наибольшая чувствительность будет в том случае, когда R_2 и R_1 стремится к 1, т. е. когда слой изоляции отсутствует. При этом получим:

$$\frac{dC}{dx} = (\epsilon_1 - \epsilon_2) \ln \left(\frac{R_2}{R_3} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{6}$$

Так как диэлектрическая постоянная полупроводящих жидкостей значительно больше, чем непроводящих, то изменение емкости на

единицу длины в первом случае будет больше, чем во втором. Отсюда следует, что емкостный метод измерения уровня особенно эффективен для полупроводящих жидкостей [5] [6].

Для того чтобы провести испытание датчика и проверить достоверность расчетных данных была разработана лабораторная установка (рис. 3), имитирующая бак автомобиля, которая позволила в автоматическом режиме измерить уровень топлива.

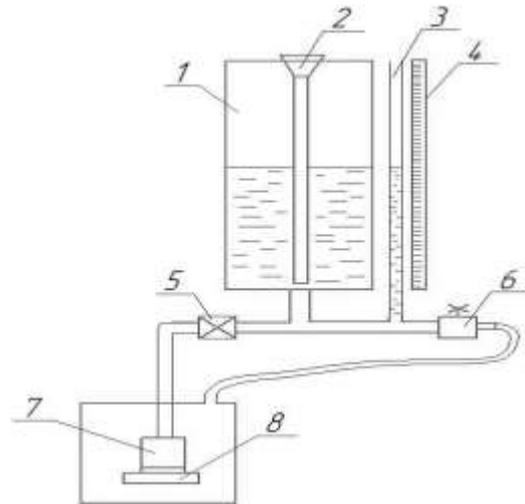


Рис. 3 Лабораторная установка для проведения испытаний датчика: 1 – измерительная ячейка, 2 – датчик, 3 – контрольная емкость, 4 – шкала, 5 – клапан, 6 – вентиль, 7 – насос, 8 – фильтр

Работает она следующим образом: с помощью насоса 7 топливо подается в измерительную ячейку 1, далее по принципу сообщающихся сосудов топливо поступает в контрольную емкость 3 и измеряется по шкале 4 уровень топлива. Фильтр 8 помогает избавиться от запыленности некоторых видов топлива и попадания механических примесей в топливо.

Была использована схема блока преобразования значений емкости в цифровой код FuelMetr для удобства вывода значений емкости на ПК. Данный блок состоит из микроконтроллера, драйвера и температурного датчика, что позволит учитывать температуру при измерении и получать данные о зависимости между значениями емкости топлива и температуры среды (рис. 4, 5)[7].

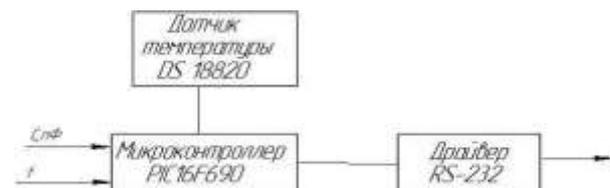


Рис. 4 Схема FuelMetr



Рис. 5. Оборудование для проведения испытаний

Представленная система измеряет остаток топлива в баке. Экспериментальным способом были получены данные, которые подтверждают точность измерения. Испытания проводились при нормальных условиях в помещении лаборатории на специальной экспериментальной установке и при различных температурах (полученные данные приведены в табл.1-6).

Испытание конструкции датчика без емкостного преобразователя для измерения ϵ топлива;
а) при температуре $t = 10^\circ\text{C}$ таблица 1, рисунок 6;

Таблица 1

Испытание датчика						
t = +10						
V, %	Наполнение	Слив	Наполнение	Слив	Наполнение	Слив
0	3360	3369	3368	3367	3368	3367
10	3360	3366	3368	3367	3368	3367
20	3360	3366	3368	3367	3368	3367
30	3310	3319	3320	3320	3320	3320
40	3256	3259	3252	3256	3253	3256
50	3189	3191	3190	3191	3190	3191
60	3129	3132	3130	3131	3130	3131
70	3065	3066	3064	3064	3065	3064
80	3017	3017	3017	3017	3017	3017

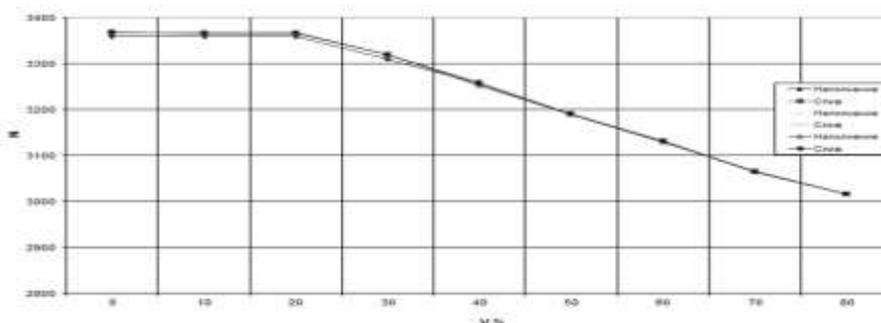


Рис. 6. График зависимости объема топлива от цифрового кода

б) при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ таблица 2, рисунок 7;

Таблица 2

Испытание датчика						
t = +20						
V, %	Наполнение	Слив	Наполнение	Слив	Наполнение	Слив
0	3661	3660	3660	3660	3660	3660
10	3661	3660	3660	3660	3660	3660
20	3650	3650	3650	3649	3649	3650
30	3650	3650	3650	3649	3649	3649
40	3639	3638	3635	3633	3630	3630
50	3621	3619	3616	3615	3618	3612
60	3606	3604	3602	3601	3601	3600
70	3591	3588	3586	3586	3586	3586
80	3576	3576	3572	3572	3570	3570

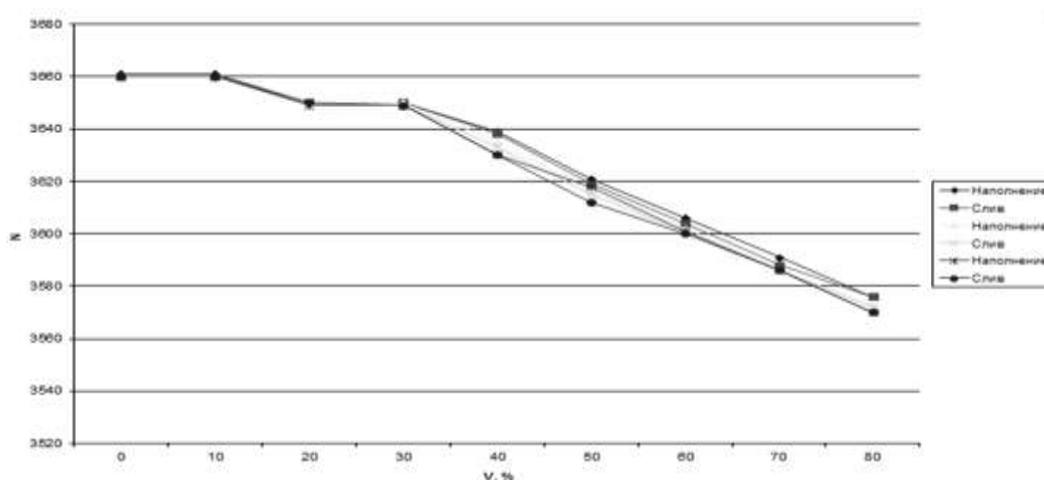


Рис. 7. График зависимости объема топлива от цифрового кода

в) при температуре $t = 30^{\circ}\text{C}$ таблица 3, рисунок 8;

Таблица 3

Испытание датчика

t = +30						
V, %	Наполнение	Слив	Наполнение	Слив	Наполнение	Слив
0	3813	3813	3811	3811	3811	3812
10	3813	3813	3811	3811	3811	3812
20	3812	3804	3811	3811	3811	3812
30	3790	3786	3789	3789	3788	3791
40	3774	3769	3772	3773	3772	3774
50	3759	3753	3756	3758	3759	3759
60	3744	3740	3742	3743	3743	3744
70	3732	3723	3727	3730	3731	3730
80	3716	3710	3711	3715	3716	3716

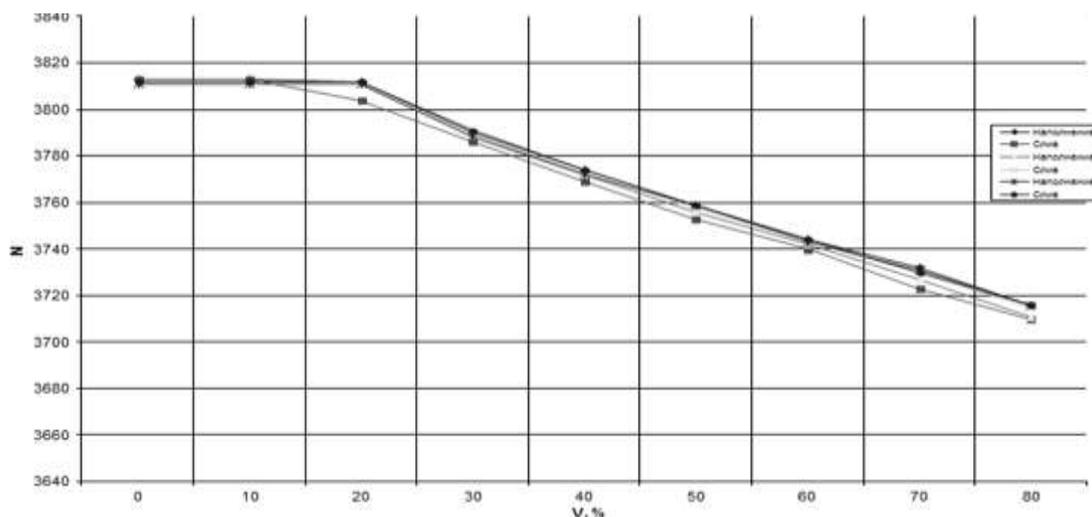


Рис. 8. График зависимости объема топлива от цифрового кода

Испытание конструкции датчика с емкостным преобразователем для измерения ϵ топлива;

а) при температуре $t = 10^\circ\text{C}$ таблица 4, рисунок 9;

Таблица 4

Испытание датчика								
$t = +10$								
V, %	Наполнение C1Г	Слив C1Г	Наполнение C2В	Слив C2В	Наполнение C1Г	Слив C1Г	Наполнение C2В	Слив C2В
0	4011	4010	4175	4173	4011	4010	4175	4173
10	4011	4010	4175	4173	4011	4010	4175	4173
20	4008	4007	4174	4173	4007	4007	4174	4173
30	4004	4003	4173	4173	4003	4003	4173	4173
40	4000	3998	4172	4172	4000	3998	4172	4172
50	3993	3992	4171	4171	3993	3992	4171	4171
60	3989	3989	4170	4170	3989	3989	4170	4170
70	3982	3982	4170	4170	3983	3982	4170	4170
80	3978	3978	4170	4170	3977	3977	4170	4170

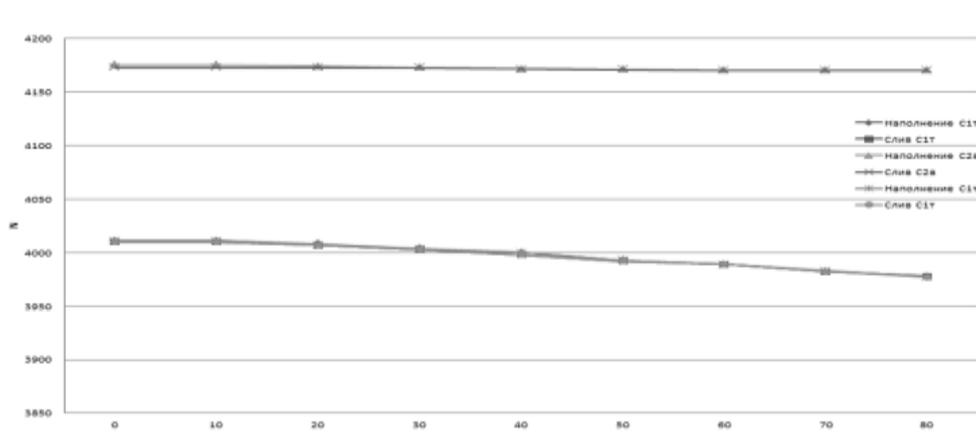


Рис. 9. График зависимости объема топлива от цифрового кода

б) при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ таблица 5, рисунок 10;

Таблица 5

Испытание датчика								
$t = +20$								
V, %	Наполнение C1Г	Слив C1Г	Наполнение C2В	Слив C2В	Наполнение C1Г	Слив C1Г	Наполнение C2В	Слив C2В
0	4695	4695	4430	4430	4695	4695	4430	4430
10	4695	4695	4430	4430	4695	4695	4430	4430
20	4691	4691	4432	4432	4691	4691	4432	4432
30	4685	4685	4431	4431	4685	4685	4431	4431
40	4677	4679	4430	4430	4676	4678	4430	4430
50	4668	4667	4430	4430	4668	4667	4430	4430
60	4662	4663	4431	4431	4662	4663	4431	4431
70	4652	4652	4432	4432	4652	4652	4432	4432
80	4640	4640	4431	4431	4640	4640	4431	4431

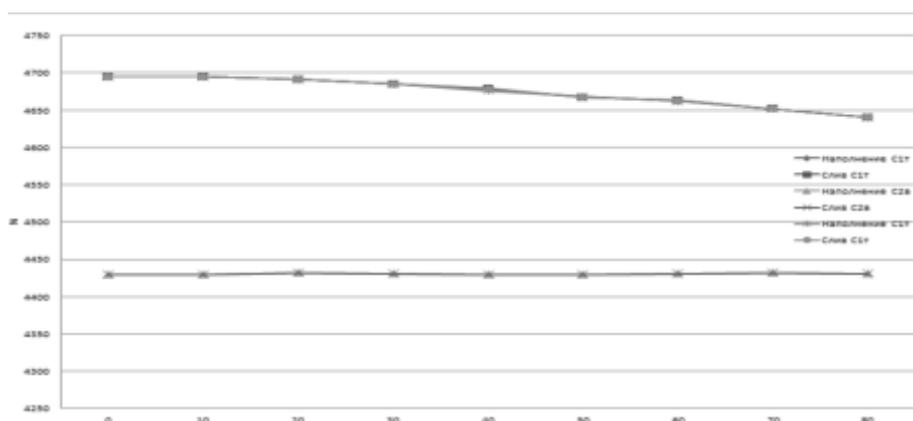


Рис. 10. График зависимости объема топлива от цифрового кода

в) при температуре $t = 30^{\circ}\text{C}$ таблица 6, рисунок 11;

Таблица 6

Испытание датчика
 $t = +30$

V, %	Наполнение C1Г	Слив C1Г	Наполнение C2В	Слив C2В	Наполнение C1Г	Слив C1Г	Наполнение C2В	Слив C2В
0	4809	4809	4429	4429	4809	4809	4430	4430
10	4809	4808	4430	4430	4809	4808	4430	4430
20	4806	4806	4432	4432	4806	4806	4432	4432
30	4801	4800	4430	4430	4801	4800	4431	4431
40	4796	4796	4430	4430	4796	4796	4430	4431
50	4789	4788	4430	4430	4789	4788	4431	4430
60	4780	4780	4431	4431	4780	4780	4431	4431
70	4772	4772	4431	4432	4772	4772	4431	4431
80	4765	4764	4431	4431	4765	4764	4430	4431

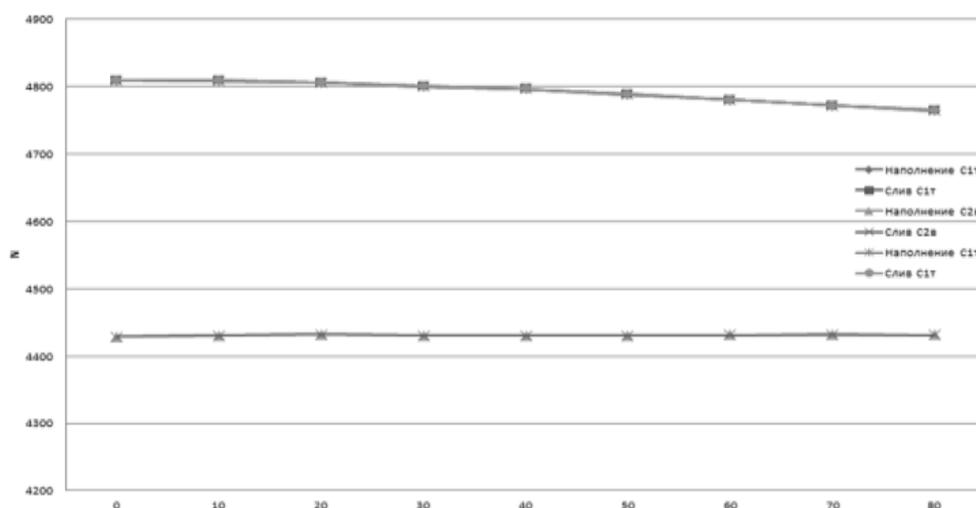


Рис. 11. График зависимости объема топлива от цифрового кода

Выводы. Как видно из таблиц и графиков, наибольшая погрешность существует на участках, данные с которых снимались датчиком без переменного конденсатора. По графику видно, что

на некоторых таких участках кривая существенно не линейна. Это и объясняет такое значение погрешности. При добавлении компенсационного

конденсатора погрешность уменьшилась, функция линейна на всех участках.

Предложенный метод контроля топлива, позволяет в режиме реального времени контролировать уровень топлива в любой емкости, будь-то топливный бак автомобиля или емкость на АЗС.

Емкостной преобразователь уровня топлива повышает точность измерения до 1%, линейность во всем диапазоне измерения, нечувствительность к колебаниям топлива в емкости.

Литература

1. Датчик Omnicomm LLS [Электронный ресурс] // <http://www.omnicomm.ru/products/datchiki-omnicomm/>.
2. Датчик УЗИ-0.8м фирмы «Точка» [Электронный ресурс] // http://www.xn--08-slce7c.xnp1ai/publ/ustanovka_ultrazvukovogo_datchika_bez_vrezki_uzi_0_8m_na_legkovoj_avtomobil/1-1-0-2.
3. Датчик ДУ-02, GPRSSERVICE [Электронный ресурс] // <http://service-gps.com/equipment/18-емkostnoj-datchik-urovnya-topliva-du-01m.html>.
4. Датчик "Ультра", EPSILON EN [Электронный ресурс] // <http://www.euromobile.com.ua/produkcija/datchiki-dlya-sistem-monitoringa/epsilon-en/>.
5. Датчик TKLS компании «ТехноКом» [Электронный ресурс] // <http://www.tk-nav.ru/tk-devices/tkls>.
6. Ванин Б. В., Львов Ю. Н. и др. Оценка влагосодержания дизельного топлива по диэлектрическим характеристикам // Топливо. 2004. №9.
7. Шанченко Н. И. Эконометрика: лабораторный практикум / – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 79 с.

References

1. Sensor Omnicomm LLS [Electronic resource] // <http://www.omnicomm.ru/products/datchiki-omnicomm/>.
2. Sensor ultrasound-0.8m company "Point" [Electronic resource] // http://www.xn--08-slce7c.xnp1ai/publ/ustanovka_ultrazvukovogo_datchika_bez_vrezki_uzi_0_8m_na_legkovoj_avtomobil/1-1-0-2.
3. Sensor DU-02, GPRSSERVICE [Electronic resource] // <http://service-gps.com/equipment/18-емkostnoj-datchik-urovnya-topliva-du-01m.html>.
4. Sensor "Ultra", EPSILON EN [Electronic resource] // <http://www.euromobile.com.ua/produkcija/datchiki-dlya-sistem-monitoringa/epsilon-en/>.

5. Sensor TKLS TechnoKom [Electronic resource] // <http://www.tk-nav.ru/tk-devices/tkls>.

6. Vanin B.V., Lvov Yu.N., et al. Assessing the moisture content of diesel fuel from dielectric characteristics // Fuel. 2004. №9.

7. Shanchenko, N. I. Econometrics: laboratory workshop / - Ulyanovsk: UISTU, 2004. - 79 p.

Ivchenko T.B., Chernobaeva Yu.Yu.

CONDUCTING EXPERIMENTAL RESEARCH OF FUEL FLOW SENSOR

The methodology for determining the remaining fuel in the vehicle tank is given. The basis of laboratory tests based on the principle of similarity of the fuel tank of the car.

Key words: fuel level, dielectric constant, capacitive transducer, moisture content, efficiency, environment.

Ивченко Татьяна Борисовна, старший преподаватель кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганского национального университета имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: tanya-ivchenko@mail.ru

Ivchenko Tatiyana Borisovna, Senior Lecturer of the department "Industrial and Urban Transport" State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: tanya-ivchenko@mail.ru

Чернобаева Юлия Юрьевна, магистрант кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганского национального университета имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: c0t98@yandex.ua

Chernobaeva Yulia Yurievna, undergraduate student of the department «Industrial and urban transport» State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: c0t98@yandex.ua

Рецензент: Мирошников Вадим Владимирович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Приборы» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Статья подана 30.03.2019

УДК 621.876.063

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЧЕРПЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КАНАТНОГО ГРЕЙФЕРА

Шевченко Н.А., Чальцев М.Н.

THE METHODOLOGY OF CALCULATION OF THE LADLING CAPACITY OF ROPE GRAB BUCKET

Shevchenko N.A., Chaltsev M.N.

В статье рассматривается расчетная схема совместной работы канатного грейфера и привода механизма замыкания, образующих механическую систему «грейфер-двигатель». При этой расчетной схеме раскрыта статическая неопределенность грейфера и учтено важное свойство автоматического саморегулирования процесса зачерпывания, присущее канатному грейферу. Составлены дифференциальные уравнения Лагранжа движения механической системы. Выполнен расчет зачерпывающей способности грейфера и текущих значений веса зачерпываемого материала в функции обобщенных координат, которые входят в кинетическую и потенциальную энергии и обобщенные силы системы. Выполненные расчеты подтверждены результатами экспериментальных исследований.

Ключевые слова: грейфер, привод, механическая система, расчет, текущее значение, уравнения Лагранжа, зачерпывающая способность.

Введение. Основными задачами теории канатного грейфера, по мнению большинства авторов [1,2,3], являются определение зачерпывающей способности грейфера, которая определяет производительность грейферного крана, и расчет текущих значений веса зачерпнутого одной челюстью материала G_5 , который входит в уравнения равновесия грейфера. Фактически – это одна задача, так как конечное значение веса зачерпнутого материала и является зачерпывающей способностью грейфера.

В литературе описаны следующие методы определения величины G_5 :

1. Графический метод оптимальный, если кривая зачерпывания известна (получена экспериментально). Метод является трудоемким и не может быть использован в расчете грейферных механизмов с помощью компьютеров.

2. По эмпирической зависимости

$$G_5 = \frac{x}{L} \cdot G_M,$$

где G_M – зачерпывающая способность грейфера;

X – текущее значение ординаты погружения ножа челюсти в рассматриваемом положении грейфера;

L – полуразмах грейфера.

Определение G_5 , как видим, исходит из того, что вес материала в конце процесса уже известны, т.е. речь идет о проверочных расчетах существующих грейферов. В нашей же постановке задачи зачерпывающая способность грейфера должны быть найдены, для чего, конечно, описанные методики не пригодны.

Целью работы является расчет текущих значений веса зачерпываемого материала и зачерпывающей способности грейфера с учетом весовых и геометрических параметров грейфера.

Для расчета будем рассматривать совместную работу грейфера с приводом механизма замыкания, образующих механическую систему «грейфер-двигатель», которая имеет две степени свободы. Расчетная схема такой системы приведена на рис.1.

Положение элементов системы в процессе зачерпывания определяется следующими независимыми между собой переменными (обобщенными координатами):

θ – угол поворота челюсти;

h – вертикальное перемещение траверсы от начала процесса зачерпывания;

Механическая система «грейфер-двигатель», приводится в движение под действием внешних сил:

P – силы двигателя, приведенной к ободу барабана; G_1 – сил тяжести звеньев и зачерпнутого материала;

R – равнодействующей сил сопротивления зачерпываемого материала, зависящая от физико-механических свойств материала.

$$P = A \cdot \frac{v - \dot{z}}{B + (v - \dot{z})^2}, \quad (1)$$

где A, B - коэффициенты, определяемые параметрами двигателя и привода механизма замыкания грейфера;

V - скорость приведенной к ободу барабану массы механизма замыкания m_6 , соответствующая синхронному числу оборотов двигателя;

\dot{z} - текущая скорость массы m_6 .

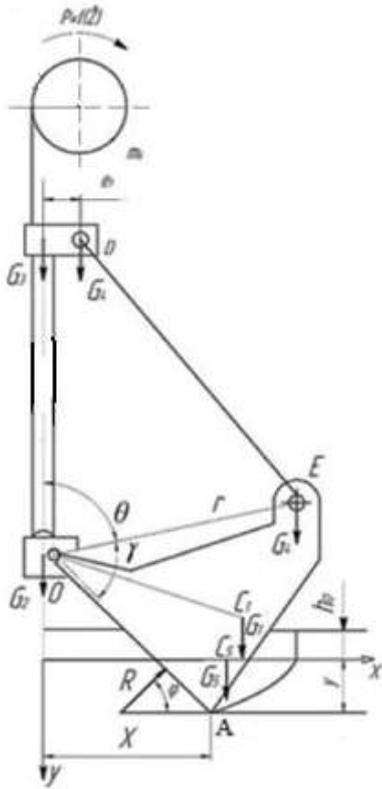


Рис. 1. Расчетная схема грейфера

На рис.1 приняты обозначения: G_1, G_2, G_3, G_4, G_5 - силы тяжести, соответственно, челюсти, половины траверсы, половины головки, штанги, зачерпываемого материала, опирающегося на челюсть.

Уравнение движения системы составим в виде дифференциальных уравнений Лагранжа второго рода.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \theta} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \theta} + Q_{\theta};$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{h}} \right) - \frac{\partial T}{\partial h} = - \frac{\partial \Pi}{\partial h} + Q_h, \quad (2)$$

где T, Π - соответственно, кинетическая и потенциальная энергии системы; Q_{θ}, Q_h -

обобщенные силы соответствующих обобщенных координат.

Грейфер - один из немногих рабочих органов, не имеющих жесткой кинематической связи с силовым приводом. Он связан с замыкающим барабаном гибким канатом. Его траектория в сыпучем материале определяется не кинематикой силового привода, а соотношением сил внедрения от веса элементов грейфера и усилия в замыкающем канате и сил сопротивления зачерпыванию сыпучего материала.

Следовательно, в процессе зачерпывания происходит автоматического саморегулирования этого процесса. Данная расчетная схема механической системы «грейфер-двигатель» (см. рис.1) позволяет учесть как прямое воздействие привода на челюсти грейфера, так и обратное сопротивление зачерпываемого материала на привод. И решающее значение здесь имеет сила двигателя, приведенная к ободу барабана P , зависящая от скорости \dot{z} , приведенной к ободу барабана массы механизма замыкания m_6 .

При уравнениях движения (2) механическая система «грейфер-двигатель» является статически неопределимой, так как число неизвестных 3 (обобщенные координаты θ, h и \dot{z} - текущая скорость массы m_6 , входящая в выражение (1), больше числа уравнений-2).

Для раскрытия статической неопределимости получено выражение абсолютной скорости приведенной массы m_6

$$\dot{z} = \dot{\theta} \cdot (n-1) \cdot M + \dot{h}, \quad (3)$$

где n - кратность замыкающего полиспаста;

$$M = r \left[\sin \theta + \cos \theta \frac{r \sin \theta - e_1 + l_2}{\sqrt{l^2 - (r \sin \theta - e_1 + l_2)^2}} \right],$$

где l - длина штанги грейфера;

e_1 - эксцентриситет штанги на головке грейфера.

С учетом этого механическая система «грейфер-двигатель» является статически определимой, так как число неизвестных 3 равно числу уравнений 3.

Выражения по расчету кинетической и потенциальной энергий системы, обобщенных сил соответствующих обобщенных координат получены в [4]. В эти выражения входят массы и веса звеньев грейфера, а также текущие масса и вес зачерпнутого материала, который является отдельной составляющей механической системы «грейфер-двигатель» с переменной массой.

На рис.2 показано положения челюсти грейфера в процессе зачерпывания. Наблюдения

показали, что форма свободной поверхности материала внутри челюсти может быть с достаточной степенью точности заменена плоскостью, угол наклона τ_1 которой к горизонту, равен сначала 0, по мере смыкания челюстей растет, достигает значения угла естественного откоса материала в движении в конце зачерпывания. С достаточной точностью величина угла τ_1 может быть вычислена по полученной эмпирической зависимости:

$$\tau_1 = \tau_0 \sqrt{1 - \frac{x}{L}},$$

где τ_0 - угол естественного откоса материала в движении.

Так как профиль днища челюсти чаще всего выполняется плоским или слегка выпуклым наружу, а влияние задней стенки на форму материала внутри челюсти проявляется лишь в последний момент зачерпывания, то без большой погрешности можно считать днище челюсти плоским, а его профиль - в виде прямой МН (рис. 2).

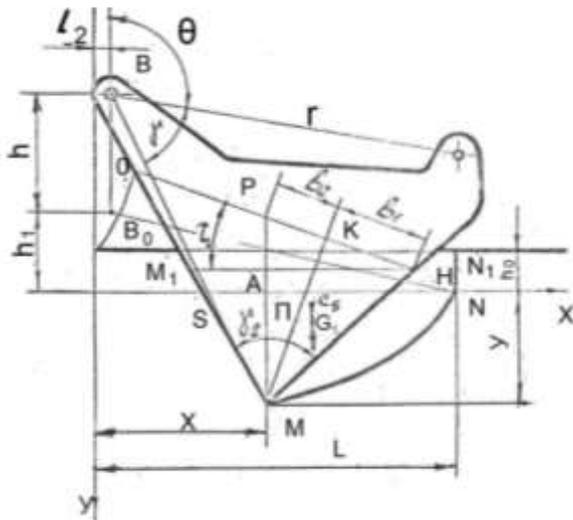


Рис. 2. Схема к расчету веса зачерпнутого материала

Для определения текущего значения веса зачерпывания материала необходимо найти площадь выемки $F = F_{\square MM_1N_1N}$ в функции обобщенных координат θ, h и параметров грейфера.

Площадь выемки можно записать так

$$F = F_{\square NPM} + F_{\square NN_1M_1S} + F_{\square СПМ}. \quad (4)$$

Площадь криволинейной части выемки:

$$F_{\square NPM} = \int_0^t |\gamma \dot{x}| dx, \quad (5)$$

где x, y - координата кривой зачерпывания (рис. 1)

$$x = \rho \sin(\theta + \gamma) + l_2;$$

$$y = -\rho \cos(\theta + \gamma) - h_1 - h^*.$$

Здесь $\rho = BM$ - длина вертикального ножа челюсти.

Подставляя в (5) значения x, y получим:

$$F_{\square NPM} = \int_0^t [\rho \cos(\theta + \gamma) + h_1 + h] \rho \cos(\theta + \gamma) \dot{\theta} dt.$$

Площадь прямолинейной части выемки может быть записана в виде:

$$F_{\square NN_1M_1S} = [L - e_2 + (h_1 + h - 0,5h_0)tg(\theta + \gamma)]h_0;$$

$$F_{\square MPS} = -0,5y^2tg(\theta + \gamma).$$

Подставляя в (4) его составляющие, получим:

$$F = F_{\square N_1NMM_1} = \int_0^t [\rho \cos(\theta + \gamma) + h_1 + h] \rho \cos(\theta + \gamma) \dot{\theta} dt - 0,5y^2tg(\theta + \gamma) + [L - e_2 + (h_1 + h - 0,5h_0)tg(\theta + \gamma)]h_0. \quad (6)$$

Вес материала, опирающегося на челюсть, определяется выражением:

$$G_5 = F(\Delta MPH) \cdot B \cdot \gamma_m,$$

где B - ширина челюсти грейфера;

γ_m - объемный вес материала.

Определение веса G_5 сводится, таким образом, к нахождению площади ΔMPH .

Для упрощения записей примем обозначения:

$$OH=b, MK=d, PM=d_1, AM=d_2, AH=d_3, AP=d_4.$$

Тогда, площадь

$$F_{\Delta MPH} = \frac{1}{2}(b_1 + b_2)d. \quad (7)$$

Отрезки b_1, b_2 и d находим из треугольника MOH (площадь F треугольника MOH является площадью сечения материала, охваченного челюстью). Так как объемный вес материала в процессе зачерпывания практически не меняется, то, очевидно, площадь охваченного челюстью материала, будет равна площади выемки, т.е.

$$F_{\Delta MOH} = F_{\square N_1NMM_1} = F.$$

Из треугольника MOH , площадь которого:

$$F = \frac{1}{2}d \cdot b,$$

где

$$b = KO + KH =$$

$$= d \cdot \frac{\sin \gamma_2}{\cos(\theta + \gamma + \gamma_2 - \tau_1) \cos(\theta + \gamma - \tau_1)},$$

так что

$$F = \frac{1}{2} d^2 \frac{\sin \gamma_2}{\cos(\theta + \gamma + \gamma_2 - \tau_1) \cos(\theta + \gamma - \tau_1)},$$

находим

$$d = \sqrt{\frac{2F \cos(\theta + \gamma + \gamma_2 - \tau_1) \cos(\theta + \gamma - \tau_1)}{\sin \gamma_2}}.$$

Из треугольников МКР и МКН имеем:

$$\begin{aligned} b_1 + b_2 &= d \operatorname{ctg}(270 - \theta - \gamma - \gamma_2 + \tau_1) \\ &+ d \operatorname{ctg}(90 - \tau_1) = \\ &= d \frac{\sin(\theta + \gamma + \gamma_2)}{\cos(\theta + \gamma + \gamma_2 - \tau_1) \cos \tau_1}. \end{aligned}$$

Подставляя в (7) его составляющие, получаем

$$F \Delta M P H = F \frac{\cos(\theta + \gamma - \tau_1) \sin(\theta + \gamma + \gamma_2)}{\sin \gamma_2 \cos \tau_1}.$$

Тогда, формула по расчету текущего значения веса зачерпнутого одной челюстью материала примет вид

$$G_5 = F \frac{\cos(\theta + \gamma - \tau_1) \sin(\theta + \gamma + \gamma_2)}{\sin \gamma_2 \cos \tau_1} B \cdot \gamma_M,$$

где F определяется по (6).

В конце процесса зачерпывания при смыкании челюстей $X=0$, а значение G_5 – зачерпывающая способность половины грейфера (вес набранного одной челюстью материала).

Зачерпывающая способность всего грейфера

$$G_r = 2 G_5.$$

В качестве объекта исследования принят двухчелюстной канатный грейфер объемом 1,5 м³. Зачерпываемый материал - песок.

Решение системы дифференциальных уравнений (2,3) выполнено численными методами с применением компьютера с понижением порядка уравнений до одного. Некоторые результаты решения пред-ставлены на рис. 3 – 4. Погрешность определения площади между кривой зачерпывания и осями координат (рис.4), а, следовательно, и зачерпывающей способности, расчетным и экспериментальным путем составляет 9%, что для работы с сыпучими материалами допустимо. Расчетные и экспериментальные значения усилия в замыкающем канате (рис.3) отличаются незначительно.

Это говорит о том, что рассматриваемая расчетная схема механической системы «грейфер-двигатель» и предложенная методика расчета зачерпывающей способности грейфера достаточно полно описывают физическую картину процесса зачерпывания материала грейфером.

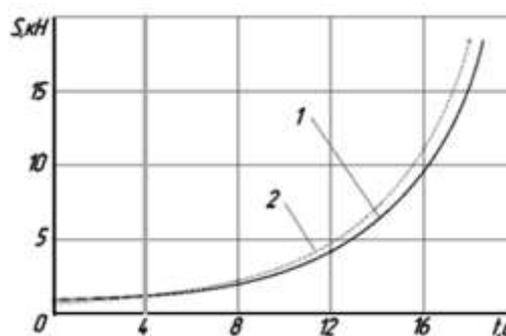


Рис.3. Теоретический 1 и экспериментальный 2 графики усилия в замыкающем канате t-текущее время процесса зачерпывания

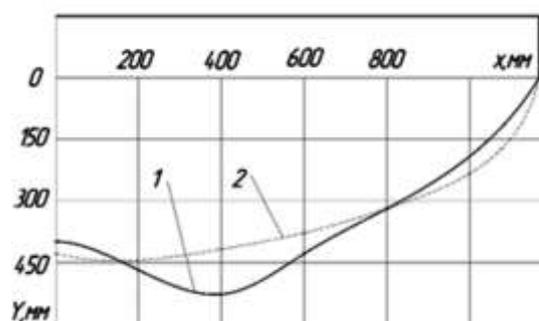


Рис.4. Теоретическая 1 и экспериментальная 2 кривые зачерпывания

Выводы. 1. Приведена расчетная схема совместной работы грейфера с приводом механизма замыкания, образующих механическую систему «грейфер-двигатель». При этом раскрыта статическая неопределимость грейфера, а также учтено важное свойство автоматического саморегулирования процесса зачерпывания, присущее канатному грейферу.

2. Выполнен расчет текущих значений веса зачерпываемого материала и зачерпывающей способности грейфера в функции обобщенных координат система с учетом весовых и геометрических параметров грейфера.

3. Выполненные расчеты подтверждены результатами экспериментальных исследований.

Л и т е р а т у р а

1. Александров, М.П. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов. / М.П. Александров, - Москва: Высшая школа, 2000. -552с.

2. Таубер, Б.А. Грейферные механизмы./ Б.А. Таубер,- Москва: Машгиз, 1985.- 270с.

3. Славин, Б.Грейферные механизмы. / Б, Славин. 0.000 ISBN: 978-3-8484-8124-8 . Рига: LAPLAMBERT Academic Publishing, 2010. - 304 с.

4. Шевченко, Н.А. Исследование зачерпывающей способности канатных грейферов// Н.А. Шевченко, Д.Н. Шевченко, С.В. Комин: Вісник СЛУ ім. В.Даля.- №4 (144), часть 2. Луганск, 2010- с.107-113.

References

1. Aleksandrov, M.P. Gruzopodemnye mashiny: Uchebnik dlja vuzov. / M.P. Aleksandrov, -Москва: Vysshaja shkola, 2000.- 552 s.
2. Tauber, B.A. Greifernye mexanizmy. /B.A.Tauber–M.: Mashgiz, 1985. – 270 s.
3. Slavin, B. Greifernye mexanizmy./ B. Slavin. 0.000 ISBN: 978-3-8484-8124-8. Riga: LAPLAMBERT Academic Publishing, 2010. – 304 s.
4. Shevchenko, N.A. Issledovanie zacherypywajschei spo-sobnosti kanatnych greiferow //N.A. Shevchenko, D. N. Shevchenko, S.B. Komin: Wisnik SNU im. W. Dalja.- №4[5], ch.2. Lugansk, 2010 –s. 107-113.

Shevchenko N.A., Chaltsev M.N.

THE METHODOLOGY OF CALCULATION OF THE LADLING CAPACITY OF ROPE GRAB BUCKET

The article introduces the design model of the joint work of rope grab bucket and lock drive, that form the mechanical “grab-drive” system. In this design model the static indeterminacy of the grab bucket has been revealed and the most important aspect characteristic of the grab bucket – namely the automatic self-regulation of the ladling process – has been taken into consideration. Lagrange mechanical system movement differential equations are formulated. The calculations of the grab ladling capacity and material weight current value in the function of generalized coordinates that is included into kinetic and potential energy and generalized forces of equations have been performed. The calculations have been verified by the results of experimental research.

Key words: grab bucket, drive, mechanical system, calculations, current value, Lagrange equations, scooping ability.

Шевченко Николай Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: lugu_ptt@mail.ru

Shevchenko Nikolay Aleksandrovich, candidate of technical sciences PhD, associate professor of the chair “Industrial and municipal transport” Department of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Чальцев Михаил Николаевич, д.т.н., профессор кафедры «Железнодорожного транспорта» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Chaltsev Mikhail Nikolayevich, doctor of technical sciences. Professor of the «Railway transport» Department of State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 23.03.2019

УДК 658.7, 656.02

РОЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ В ИНДУСТРИИ 4.0

Шубенкова К.А., Макарова И.В.

THE ROLE OF TRANSPORT LOGISTICS IN INDUSTRY 4.0

Shubenkova K.A., Makarova I.V.

Восстановление и ремонт отработавших запасных частей, в том числе повторное использование, реконструирование и рециркуляция является одной из стратегий в решении экологических проблем и в полной мере соответствует концепции Индустрии 4.0. В качестве единицы анализа выбрана крупнейшая автомобильная корпорация Российской Федерации ПАО «КАМАЗ», которая имеет широкую сеть дилеров и складов как внутри страны, так и за границей. Выделены пункты доставки, для которых могут быть использованы более экологичные маршруты с учетом особенностей российской транспортной системы. Предложен алгоритм организации доставки негодных запасных частей для их восстановления обратно на завод-изготовитель обратными рейсами с крупных складов, что способствует минимизации порожних пробегов.

Ключевые слова: Индустрия 4.0; циркулярная экономика; реверсивная логистика; доставка запасных частей; международные транспортные коридоры; восстановление запасных частей

Введение. XXI век обострил проблемы, вызванные истощением природных ресурсов, потребностью в переработке все большего количества отходов и критическим состоянием экосистем в целом. Индустриализация, усиливающаяся конкуренция на глобальных рынках и развитие автомобильной отрасли приводит к росту потребности в перевозках, что сопровождается негативным воздействием на окружающую среду и приводит к изменению климата. В связи с этим человечеству необходимо найти умные решения для обеспечения комфортных условий жизни и ежедневной деятельности. Бурное развитие техники и технологий, направленных на поиск оптимальных устойчивых решений, а также проникновение интернета в жизнь каждого человека привело к четвертой промышленной революции.

Индустрия 4.0 как новый уровень управления производственными процессами. С понятием четвертой промышленной революции связывают инициативу немецкого правительства, поддержанную производителями различного оборудования, так называемую Индустрию 4.0. Концепцию «Индустрии 4.0» можно

сформулировать как внедрение «киберфизических систем» в заводские процессы. Предполагается, что эти системы будут объединяться в одну сеть, связываться друг с другом в режиме реального времени, самонастраиваться и учиться новым моделям поведения. Такие сети смогут выстраивать производство с меньшим количеством ошибок, взаимодействовать с производимыми товарами и при необходимости адаптироваться под новые потребности потребителей [1].

Интернет вещей (IoT – Internet of Things), облачные вычисления, 3D печать, системная интеграция, Большие Данные (BigData), аддитивные технологии, автономные роботы, моделирование и симуляция, виртуальная и дополненная реальность, кибер-безопасность – это элементы, на которых основана Индустрия 4.0. Многие из этих элементов уже давно и успешно применяются на практике, но именно объединение их в одну целостную систему позволит развить концепцию «Индустрии 4.0» и обеспечить новый уровень эффективности производства и дополнительный доход за счет использования цифровых технологий, формирования сетевого взаимодействия поставщиков и партнеров, а также реализации инновационных бизнес-моделей.

В широком смысле, Индустрия 4.0 характеризует текущий тренд развития автоматизации и обмена данными, который включает в себя Интернет Вещей, Большие Данные, циркулярную экономику и реверсивную логистику. Распространение Интернета Вещей открывает возможности реализации циркулярных инноваций. Большие Данные дают возможность узнать место происхождения продукта, способ производства и количество энергии, затраченной на его производство. Эти данные лежат в основе циркулярной экономики. С другой стороны, мощное развитие получит логистика, представленная современными решениями.

Индустрия 4.0 представляет собой новый уровень организации производства и управления цепочками поставок на протяжении всего жизненного цикла выпускаемой продукции.

Одним из ключевых направлений Четвертой промышленной революции является формирование «природоподобных» технико-технологических систем. В связи с этим все больше компаний в мире начинают внедрять принципы циркулярной экономики в свою деятельность, что приводит к существенным экологическим, экономическим и социальным выгодам. Так, их внедрение в автомобильную отрасль, согласно исследованиям международной компании PersistenceMarketResearch [2], создаст возможность сократить потребление сырьевых ресурсов на 98 %; обеспечить экономию энергии — на уровне 83 %, снижение стоимости готовой продукции — до 40 % и выбросов углекислого газа — до 87 %.

Линейные модели производства, доставшиеся нам в наследство от предыдущих революций и базирующиеся на принципе «take, make, waste», сегодня обнаруживают множество серьезных недостатков, одним из которых являются растущие экологические проблемы [3]; и новая промышленная революция призвана исправить накопившиеся негативные факторы. Одним из инструментов решения проблемы загрязнения и обеспечения

стабильного экологического будущего является циркулярная экономика, которой свойствен восстановительный и замкнутый характер и которая основана на минимизации потребления первичного сырья и снижении отходов, направляемых на захоронение.

Основу циркулярной экономики образуют замкнутые цепи поставок, для чего необходимо применять принципиально новые логистические подходы. Один из таких подходов получил название «реверсивная логистика» и подразумевает обеспечение движения материального потока от точки потребления до изначального места производства [4]. В случае логистики автозапчастей, необходимо определять, подлежит ли запасная часть восстановлению на основании статистики отказов. Если запасная часть не подлежит восстановлению в условиях сервисного центра, ее необходимо доставить на завод изготовитель для разборки, замены компонентов, когда это необходимо, и сборки изделия, чтобы вернуть его в рабочее состояние с рабочим ресурсом как у новой запасной части (рисунок 1).

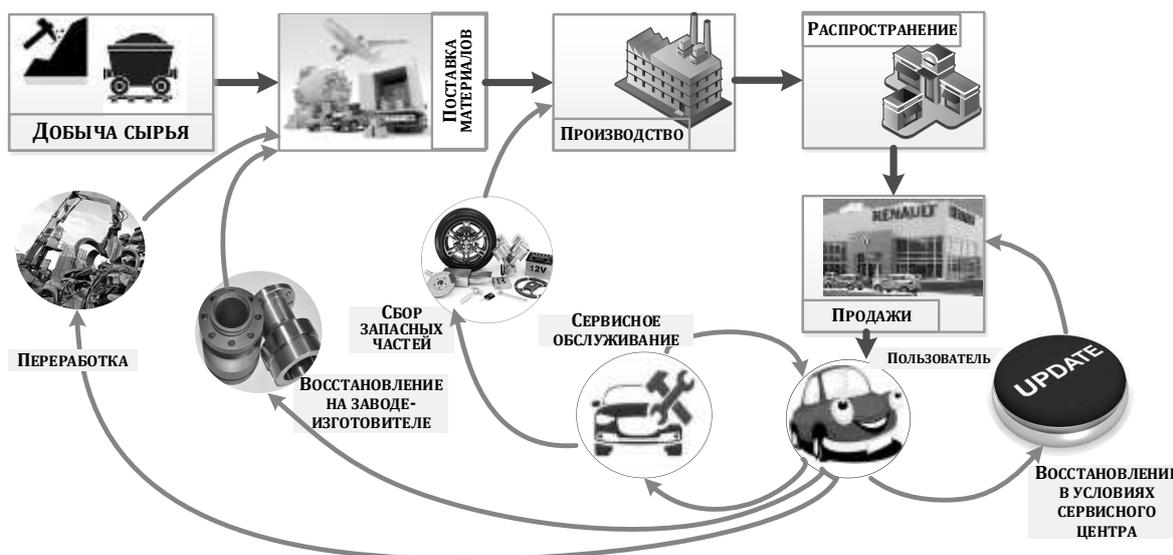


Рис.1. Применение методов циркулярной экономики в автомобильной отрасли

Организация доставки запасных частей от производителя в дилерские центры. ПАО «КАМАЗ» было выбрано в качестве единицы анализа, поскольку оно является крупнейшей автомобильной корпорацией Российской Федерации и входит в десятку крупнейших производителей грузовых автомобилей большой грузоподъемности в мире. Поскольку «КАМАЗ» является одним из крупнейших российских экспортеров своей продукции и сопроводительных услуг в Азию, Африку и Южную Америку и намерен расширить рынок, нет необходимости говорить, что ПАО «КАМАЗ» имеет широкий опыт управления цепями

поставок. Однако, в современных условиях перехода к «циркулярной экономике» и потребности внедрения методов реверсивной логистики, компании требуется проанализировать существующие алгоритмы поставок запасных частей и рассмотреть возможности повышения их экономической и экологической эффективности. Для этого использовалась официальная информация, в том числе опубликованная на официальном сайте ПАО «КАМАЗ»[5], а также на сайтах KAMAZMOTORS ([6] сайт, ориентированный на рынок Индии) и KAMAZTRUCKSUAЕ ([7] сайт, ориентированный

на рынок Объединенных Арабских Эмиратов и других близлежащих стран).

На карте на рисунке 2 отмечен сам завод-производитель ПАО «КАМАЗ», а также некоторые точки продаж и обслуживания. Поскольку у ПАО «КАМАЗ» по всей России и странам СНГ более 150

дилеров различных типов и уровней, на слайде отмечены лишь те города, процесс доставки запасных частей в которые является сложной задачей по тем или иным причинам и, на наш взгляд, может быть усовершенствован.



Рис.2. Расположение некоторых авторизованных дилерских центров, складов и торговых точек ПАО «КАМАЗ»

На сегодняшний день, в связи с тем, что Россия имеет сухопутные границы и развитое автомобильное и железнодорожное сообщение с Азербайджаном, Туркменистаном и Казахстаном, поставки осуществляются наземными видами транспорта. Однако в связи со вступлением в силу Стратегии развития российских морских портов в Каспийском бассейне, мы предлагаем рассмотреть следующий маршрут: доставка крупных партий запасных частей наземными видами транспорта до терминала в Каспийском регионе, откуда доставлять автомобильным транспортом мелкие партии в близлежащие российские города и в Грузию, а морским транспортом – в Азербайджан, Туркменистан, Узбекистан, Казахстан, а также в Индию, по коридору «Север – Юг» от г. Санкт-Петербурга до порта Мумбаи (Бомбей), который после модернизации войдет в новый Шелковый путь, когда он будет закончен (рисунок 3а).

Перспективным направлением для России является развитие Северного морского пути

(рисунок 3б), который проходит по морям Северного Ледовитого океана, поскольку это кратчайшая дорога между Европой и Азией. Кроме того, маршрут Мурманск – Диксон – Тикси – бухта Певек – Берингов пролив – Петропавловск-Камчатский, Владивосток – это единственная дорога для снабжения населения Крайнего Севера продовольствием, топливом и техникой. Сегодня Арктика, имеющая выходы во все мировые океаны, становится гигантским международным перспективным проектом XXI века. По оценкам китайских экспертов, проводка морского торгового каравана из Шанхая в Гамбург через Берингов пролив по Северному морскому пути сокращает время доставки грузов на 40%.

Примером удаленных и труднодоступных российских городов могут служить Магадан, Южно-Сахалинск, Петропавловск-Камчатский, где наземные транспортные пути развиты слабо. Поэтому необходимо рассмотреть вариант доставки запасных частей по Северному морскому пути.

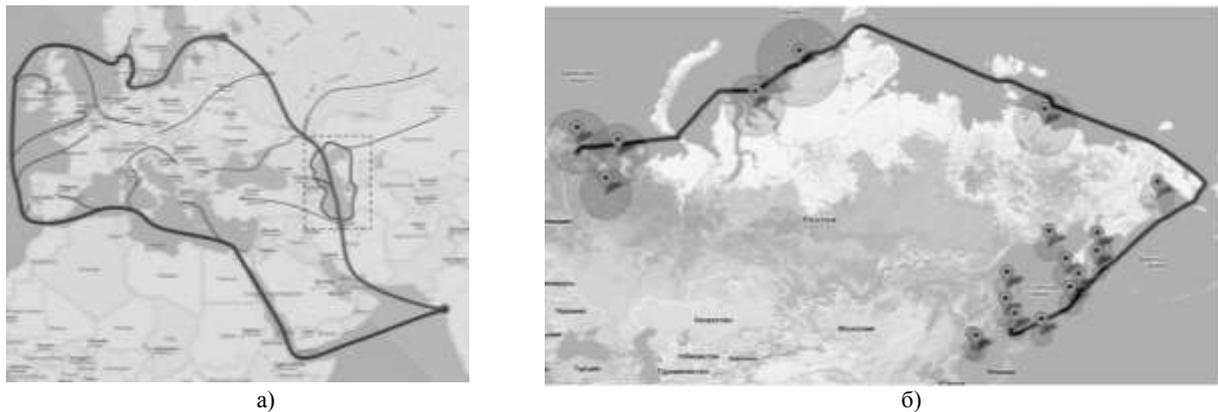


Рис. 3. а) Международный транспортный коридор «Север – Юг» после вхождения в Новый Шелковый путь; б) Северный морской путь

В целом, неисправные детали могут быть трех типов:

1) подлежат восстановлению в условиях автосервиса (forrepair) – эти детали после восстановления отправляются на склад и в последующем могут использоваться для ремонта автомобилей.

2) подлежат восстановлению только в условиях завода-изготовителя (formanufacturing) – эти детали складываются отдельно, и в случае, если это дилерский центр типа В или С (с малыми складскими площадями), то эти детали хранятся на более крупном складе дилерского центра типа А. Когда накапливается достаточное количество для формирования партии, их отправляют на завод-изготовитель обратным рейсом, тем самым исключая порожние пробеги.

3) подлежат только переработке (forrecycling) – для экономии пространства эти детали могут хранить и перевозить в прессованном виде.

При переходе к циркулярной экономике возникает необходимость доставки неисправных

запасных частей на завод-производитель (formanufacturing). Для снижения негативного воздействия на окружающую среду обратную доставку неисправных деталей также необходимо оптимизировать. На рисунке 4 представлен предлагаемый алгоритм доставки новых автомобилей и их гарантийных комплектов в дилерские центры и на склады, а также неисправных деталей обратно на завод-изготовитель.

Выводы. Конкурентоспособность предприятия на сегодняшний день во многом зависит от его экологической эффективности. Поскольку на этап транспортировки приходится не только большая часть логистических издержек, но и большая часть негативного воздействия на окружающую среду, управление цепочками поставок запасных частей имеет большое значение, особенно в таких отраслях сложных производств, как автомобильная, аэрокосмическая и т.д. Рассмотренные в статье предложения по совершенствованию маршрутных схем в дальнейшей работе будут проверены на имитационных моделях.

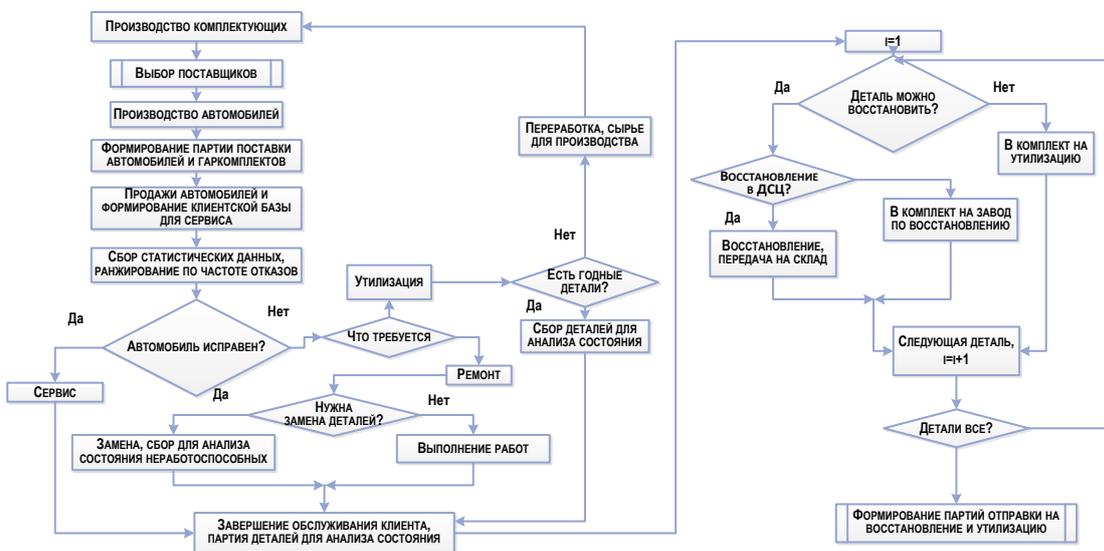


Рис. 4. Алгоритм организации доставки новых запасных частей в дилерские центры и торговые точки, а также неисправных запасных частей обратно на завод-изготовитель

Л и т е р а т у р а

1. TheVillage[Электронный ресурс]. – URL: <http://www.furfur.me/furfur/changes/changes/216447-4-aya-promyshlennaya-revoljutsiya>(дата обращения 02.02.2018).
2. Persistence Market Research, 2015. Automotive Parts Remanufacturing Market: Global Industry Analysis and Forecast 2016–2024. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.persistencemarketresearch.com/market-research/automotive-parts-remanufacturing-market.asp> (дата обращения 02.02.2018).
3. Пахомова Н. В., Рихтер К. К., Ветрова М. А. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития // Вестник СПбГУ. Экономика. 2017. Т. 33. Вып. 2. С. 244–268.
4. Niknejad, A., Petrovic, D., 2014. Optimisation of integrated reverse logistics networks with different product recovery routes. European J. of Operational Res. 238 (1), 143–154.
5. Официальный сайт ПАО «КАМАЗ» [Электронный ресурс]. – URL: <https://kamaz.ru/> (дата обращения 02.02.2018).
6. KAMAZMOTORS [Электронныйресурс]. – URL: http://kamazmotors.in/?page_id=44 (дата обращения 02.02.2018).
7. KAMAZTRUCKSUAE [Электронныйресурс]. – URL: <https://www.kamazexport.com/service-parts/> (дата обращения 02.02.2018).

R e f e r e n c e s

1. TheVillage[Elektronnyj resurs]. – URL: <http://www.furfur.me/furfur/changes/changes/216447-4-aya-promyshlennaya-revoljutsiya>(data obrashcheniya 02.02.2018).
2. Persistence Market Research, 2015. Automotive Parts Remanufacturing Market: Global Industry Analysis and Forecast 2016–2024. [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://www.persistencemarketresearch.com/market-research/automotive-parts-remanufacturing-market.asp> (data obrashcheniya 02.02.2018).
3. Pahomova N. V., Rihter K. K., Vetrova M. A. Perekhod k cirkulyarnoj ekonomike i zamknutym cepyam postavok kak faktor ustojchivogo razvitiya // Vestnik SPbGU. Ekonomika. 2017. T. 33. Vyp. 2. S. 244–268.
4. Niknejad, A., Petrovic, D., 2014. Optimisation of integrated reverse logistics networks with different product recovery routes. European J. of Operational Res. 238 (1), 143–154.
5. Oficial'nyj sajt PАО «KAMAZ» [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://kamaz.ru/> (data obrashcheniya 02.02.2018).
6. KAMAZMOTORS [Elektronnyjresurs]. – URL: http://kamazmotors.in/?page_id=44 (data obrashcheniya 02.02.2018).
7. KAMAZTRUCKSUAE [Elektronnyjresurs]. – URL: <https://www.kamazexport.com/service-parts/> (data obrashcheniya 02.02.2018).

ShubenkovaK.A., MakarovaI.V. THE ROLE OF TRANSPORT LOGISTICS IN INDUSTRY 4.0

Product recovery activities including repair, remanufacturing, and recycling is one of the strategies to solve environmental problems and fully correlates with the concept of Industry 4.0. The automobile corporation PC "KAMAZ" has been selected as the unit of analysis because it has a wide network of dealers and warehouses both inside the country and abroad. Authors have determined points of delivery, for which more environmentally friendly routes taking into account the peculiarities of the Russian transport system can be developed. The algorithm for organizing the delivery of faulty spare parts for their remanufacturing from large warehouses to the manufacturer by vehicles' return trips, which helps to minimize empty runs, is proposed.

Key words: Industry 4.0; circulareconomy; reverselogistics; spare parts delivery; international transport corridors; remanufacturing

Шубенкова Ксения Андреевна, к.т.н., старший преподаватель кафедры «Сервис Транспортных Систем», Казанский Федеральный Университет, г. Набережные Челны.

E-mail: ksenia.shubenkova@gmail.com

Shubenkova Ksenia, Candidate of Sciences, Senior Lecturer of the department "Service of Transport Systems" of the Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny.

E-mail: ksenia.shubenkova@gmail.com

Макарова Ирина Викторовна, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем» ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.

E-mail: kamivm@mail.ru

Makarova Irina Viktorovna, Doctor (Tech.), Professor, a head of the Chair «Transport Systems Service», Federal State Autonomous Educational Establishment of Higher Education «Kazan State University», Naberezhnye Chelny.

E-mail: kamivm@mail.ru

Рецензент: Губачева Лариса Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 16.03.2019

УДК 681.12:681.518.52

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАМЕРА РАСХОДА ВОЗДУХА С ПРИВЕДЕНИЕМ ПОКАЗАНИЙ К СТАНДАРТНЫМ УСЛОВИЯМ

Щукин А.Ю., Щукин О.Ю., Васильев И.П.

AUTOMATION OF MEASUREMENT OF THE CONSUMPTION OF AIR WITH REDUCTION OF INDICATIONS TO STANDARD CONDITIONS

Schukin A.Yu., A., Schukin O.Yu., Vasyliiev I.P.

Рассмотрена возможность автоматического замера расхода воздуха и приведения полученных показаний к стандартным условиям. Приведен расчет объемного и массового расходов воздуха. При исследованиях предлагается определять массовый расход воздуха, учитывающий изменения окружающей среды, а именно, температуру и барометрическое давление. Выявлена погрешность замера массового расхода воздуха, вызванная оговоренным в стандарте изменением барометрического давления. Приводится расчет для газового счетчика РГ-40.

Ключевые слова: воздух, объемный расход, массовый расход, стандартные условия.

Вступление. Во многих отраслях промышленности возникает необходимость замера расхода воздуха. При этом надо ориентироваться на определенные стандарты. Для приведения объема газа к одинаковым условиям используются следующие параметры: давление – 101325 Па (760 мм. рт. ст.) и температура – 293,15 К (20°C) [1].

В автомобильной промышленности показания двигателей (мощность, крутящий момент, среднее эффективное давление) также приводятся к стандартным условиям [2, 3].

При этом отмечается, что если параметры окружающей среды выходят за определённые значения, то в протоколе испытаний необходимо их указывать.

Цель работы является изучение возможности автоматического замера массового расхода воздуха с приведением показателей к стандартным условиям.

Результаты исследований. Работа была выполнена на кафедре «Железнодорожный транспорт» Луганского университета им. В. Даля.

Одним из требований поверки является приведение показателей к одинаковым (стандартным) условиям, учитывающих изменение параметров окружающей среды.

В ГОСТе [4] оговаривается температура окружающей среды, которая должна быть равна $20 \pm 5^\circ\text{C}$, относительная влажность – в диапазоне 30-80%.

В тоже время допускается изменение атмосферного давления в пределах 84-106,7 кПа.

Изменение барометрического давления в указанном диапазоне не влияет на условия поверки газовых счетчиков. В некоторых случаях достаточно использование только объемного расхода воздуха. Например, при поверке газовых счетчиков сравнивают объемные показания эталонного и поверяемого счетчиков.

Но при исследованиях, в которых используется массовый расход воздуха это необходимо учитывать.

Известно, что с увеличением барометрического давления массовый расход воздуха увеличивается, так как воздух становится плотнее.

Предлагается оценить влияние изменения барометрического давления на массовый расход воздуха в указанном в ГОСТе диапазоне 84-106,7 кПа.

После замера объемного расхода воздуха расход газа приводится к стандартным условиям ($V_0=101,3$ кПа и $T_0=293$ К) по формуле:

$$Q_B^{ny} = Q_B \frac{T_0 \cdot V_{окр}}{T_{окр} \cdot V_0},$$

где Q_B – объемный расход воздуха при параметрах окружающей среды;

$V_{окр}$ и $T_{окр}$ – барометрическое давление и температура окружающей среды.

Массовый расход в кг/ч определяется по формуле:

$$G_B = Q_B^{ny} \cdot \rho_B,$$

где $\rho_v = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха при стандартных условиях.

Предположим, что проходит поверку счетчик при одинаковой температуре 20°C и при крайних значениях барометрического давления.

При $V_0=84 \text{ кПа}$ объемный расход счетчика РГ-40 составляет $30 \text{ м}^3/\text{ч}$, а приведенный к стандартным условиям равен $24,87 \text{ м}^3/\text{ч}$ (массовый расход $29,844 \text{ кг/ч}$). При $V_0=106,7 \text{ кПа}$ эта величина составляет

$31,59 \text{ м}^3/\text{ч}$ (массовый расход $37,9 \text{ кг/ч}$). Отличие массовых расходов воздуха в указанном диапазоне барометрического давления составляет 27% , что является достаточно большой величиной. Поэтому предлагается при исследованиях ориентироваться на массовый расход воздуха.

Схема установки для поддержания постоянного массового расхода воздуха приведена на рис. 1.

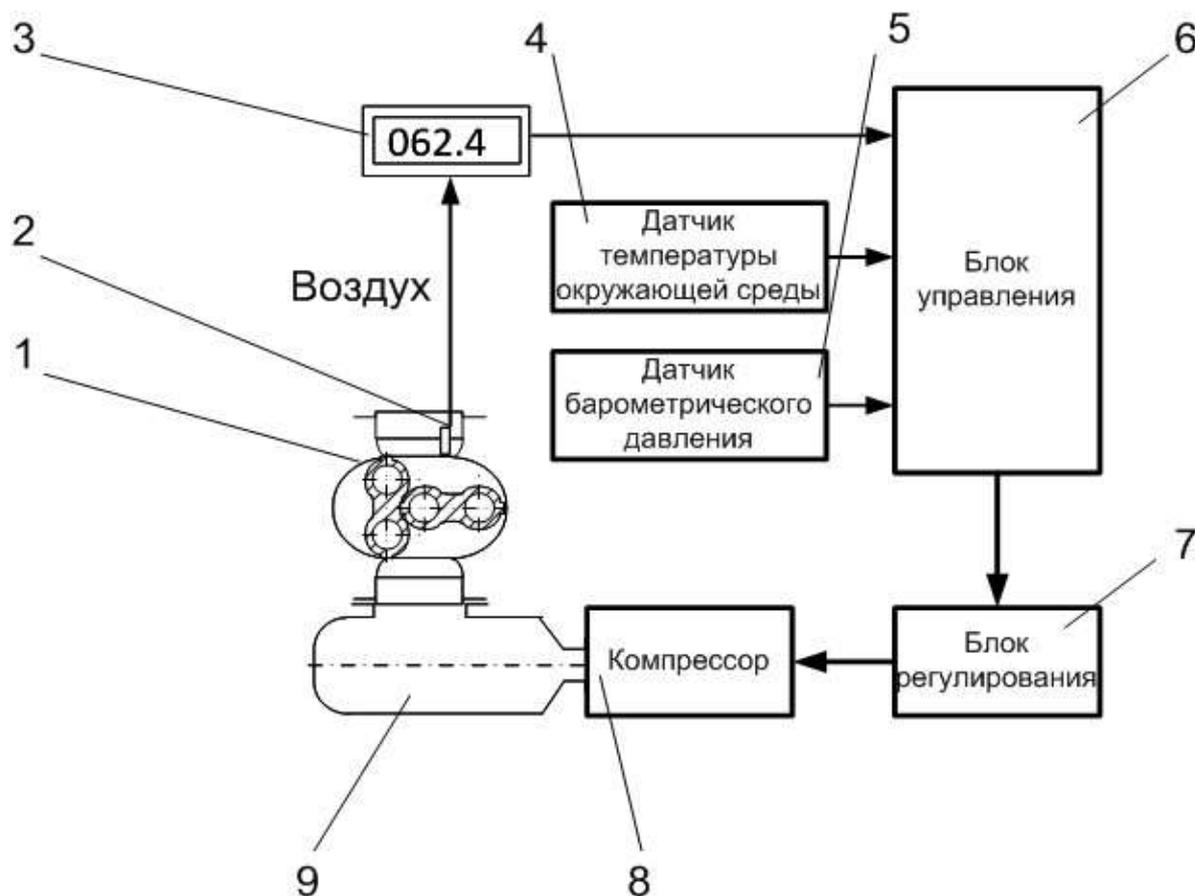


Рис. 1. Общая схема автоматического замера и регулирования массового расхода воздуха

1-газовый счетчик; 2-индукционный датчик; 3-показывающий прибор; 4-датчик температуры окружающей среды; 5-датчик барометрического давления; 6-блок управления; 7-блок регулирования; 8-компрессор; 9-ресивер

Согласно схеме при работе фиксируется объемный расход воздуха, температура и барометрическое давление окружающей среды. Данные параметры поступают в блок управления, в котором производится приведение объемного расхода воздуха к стандартным условиям, а затем расчет массового расхода воздуха. Далее производится сравнение с заданным значением и с

необходимой точностью осуществляется регулирование расхода воздуха. Регулировка осуществляется путем уменьшения или увеличения оборотов компрессора. Воздух поступает в ресивер для сглаживания пульсаций. Указанная последовательность операций представлена в блок-схеме на рис. 2.

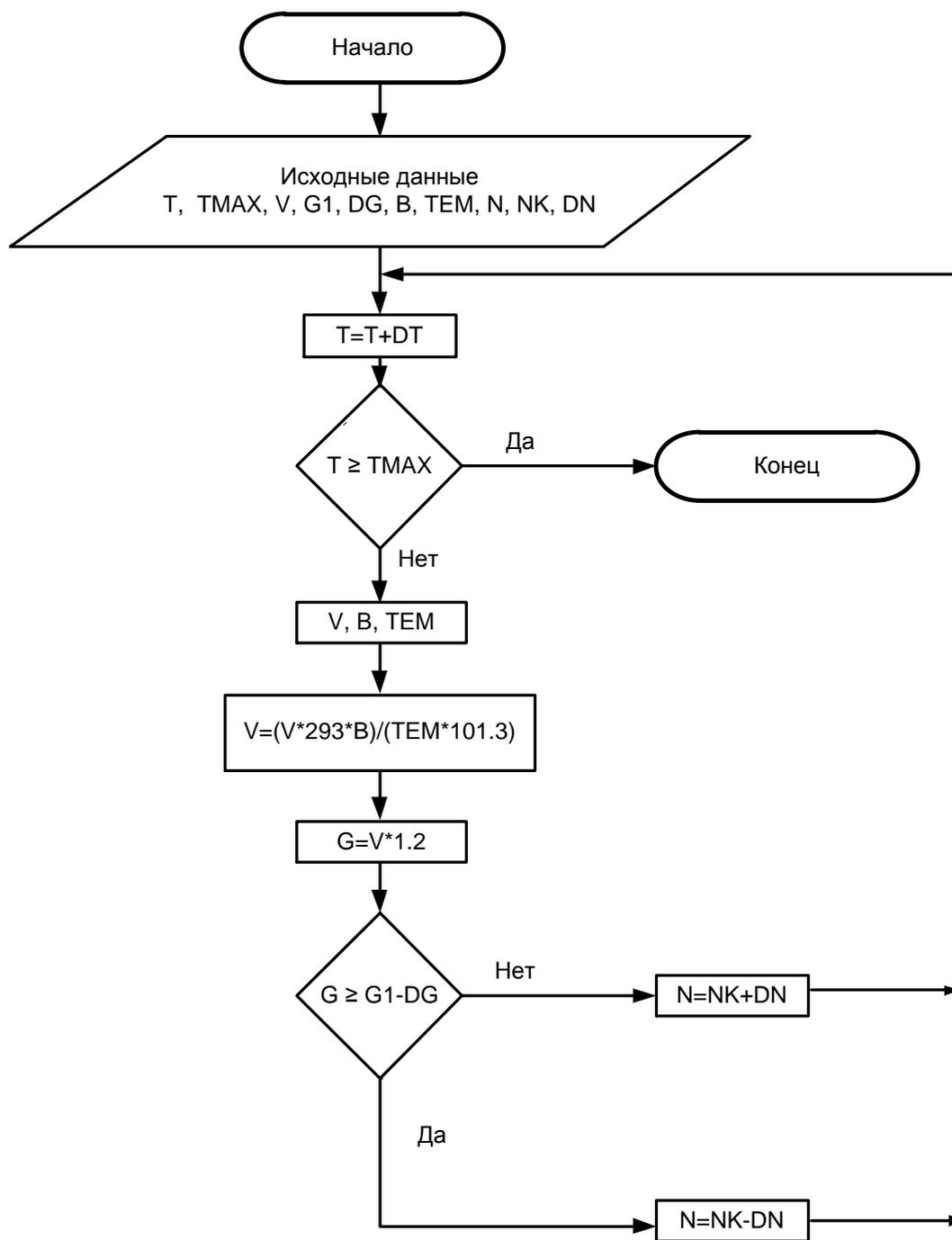


Рис. 2. Блок-схема алгоритма регулирования заданного массового расхода воздуха

В блок-схеме используются следующие идентификаторы: T (T) – текущее время замера; ΔT (DT) – время между замерами; Tmax (TMAX) – максимальное время работы двигателя; V – текущее значение объемного расхода воздуха; G1 (G1) – заданный массовый расход воздуха; ΔG (DG) – заданная погрешность массового расхода воздуха; NK – обороты компрессора; ΔNK (DN) – изменение оборотов компрессора; B – барометрическое давление окружающей среды; TEM – температура окружающей среды; G (G) – массовый расход воздуха

Выводы. В результате проведенных исследований предложено для более точного определения расхода воздуха использовать не объемный расход, который зависит от окружающей среды, а массовый расход, учитывающий эти изменения.

Л и т е р а т у р а

- ГОСТ 2939-63. Газы. Условия для определения объема. Введ. 01.01.1964. М.: Изд-во стандартов, 1988. – 3 с.
- ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 55 с.

3. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – Введ. 01.01.90. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 70 с.

4. ГОСТ Р 8.324-2002 ГСИ. Счетчики газа. Методика поверки. Введ. 01.01.2004. Взамен ГОСТа 8.324-78 М.: Изд-во стандартов, 2004. – 3 с.

References

1. GOST 2939-63. Gaza. Usloviya dlya opredeleniya ob'yema. Vved. 01.01.1964. M.: Izd-vo standartov, 1988. – 3 s.

2. GOST 14846-81. Dvigateli avtomobil'nyye. Metodystendovyykh ispytaniy. Vved. 01.01.82. – M.: Izd-vo standartov, 1984. – 55 s.

3. GOST 18509-88. Dizeli traktornyye i kombaynovyye. Metody stendovyykh ispytaniy. – Vved. 01.01.90. – M.: Izd-vo standartov, 1988. – 70 s.

4. GOST R 8.324-2002 GSI. Schetchiki gaza. Metodika poverki. Vved. 01.01.2004. Vzamen GOSTa 8.324-78 M.: Izd-vo standartov, 2004. – 3 s.

Schukin A. Yu., A., Schukin O. Yu., Vasyliov I. P.
AUTOMATION OF MEASUREMENT OF THE CONSUMPTION OF AIR WITH REDUCTION OF INDICATIONS TO STANDARD CONDITIONS

The possibility of automatic measurement of a consumption of air and reduction of the received indications to standard conditions is considered. At researches it is offered to define the mass consumption of air considering changes of the environment, namely, temperature and barometric pressure. The error of measurement of a consumption of air caused by the change of barometric pressure stipulated in the standard is considered.

Keywords: air, volume expense, mass expense, standard conditions

Щукин Александр Юрьевич, студент группы ТЛ-1А51, ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Schukin Alexander Yuryevich student of the TL-1A51 group, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Щукин Олег Юрьевич, студент группы ТЛ-1А51, ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Schukin Oleg Yuryevich student of the TL-1A51 group, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Васильев Игорь Павлович, к.т.н., доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».
E-mail:vasilevkr@gmail.com

Vasyliov Igor Pavlovich, associate professor, "Internal combustion engines" Department of Volodymyr Dahl Lugansk National University.
E-mail:vasilevkr@gmail.com

Рецензент: Куликов Юрий Андреевич, доктор технических наук., профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана: 10.03.2019

УДК 629:423

ПОВЫШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ РАЦИОНАЛИЗАЦИЕЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Кущенко А.В., Семин Ю.Г., Кружилин И.В.

RAISE OF FUEL PROFITABILITY OF VEHICLES BY RATIONALIZATION OF OPERATIONAL MODES OF THE PROPULSIVE PLANT

Kushchenko A.V., Semin J.G., Kruzhilin I.V.

В работе представлены результаты анализа затрат мощности тепловозом серии 2ТЭ116 на тягу и на вспомогательные нужды, рекомендованы способы снижения затрат энергоресурсов на работу локомотива на разных режимах. Выполнены расчеты сравнительной топливной экономичности при работе энергетической установки на низких частичных и субноминальных режимах. Установлено, что основными энергосберегающими мероприятиями для неполновесных поездов являются: перевод одной из секций в режим холостого хода при одновременном повышении тяговой нагрузки на другую секцию, что, как доказано, энергетически выгодно, а также остановка энергетической установки одной из секций (при необходимости) с последующим ее запуском от работающей секции.

Ключевые слова: тепловоз, секция, тяга, режим работы, основное сопротивление, холостой ход, генераторный пуск пассажирское движение, неполновесный поезд, дизель, дизельное топливо, электрическая схема, поездная работа, ресурсосбережение.

Введение. В условиях ограниченного по качественному и количественному составу парка магистральных тяговых единиц железнодорожного транспорта единственным выходом является их универсализация, т.е. обеспечение возможность перманентного использования не только для вывозного и поездного грузового движения, но также и для пассажирского.

Анализ последних исследований и публикаций. Пополнение парка локомотивов новыми машинами ввиду катастрофической нехватки денежных средств, научных и производственных мощностей и еще многих непреодолимых обстоятельств - реалий нашей современной жизни - невозможно. Поэтому топливная экономичность и долговечность тепловоза в эксплуатации при его многоцелевом и многофункциональном использовании может быть

достигнута только за счет использования рациональных режимов ведения поезда, выбора наиболее целесообразных данному режиму позиций контроллера машиниста, полного использования кинетической энергии поезда и регулирования числа работающих дизелей многосекционного тепловоза [1-4].

При этом одним из резервов экономии дизельного топлива является уменьшения времени работы дизелей тепловозов на неэкономичных режимах и холостом ходу, которые характеризуются увеличенными удельными расходами дизельного топлива.

Отсутствие надлежащей системы пуска тепловозных дизелей приводит к перерасходам дизельного топлива потому, что не позволяет выполнять остановку дизеля одной из секций тепловоза во время передвижений и в течение продолжительных остановок. Пуск остановленного дизеля от дизель-генераторной установки работающего дизеля второй секции и метод перевода одной из секций тепловоза в режим холостого хода, с последующей догрузкой второй секции до номинальных режимов, является одним из путей решения вопроса экономии топливно-энергетических ресурсов железнодорожного транспорта. Экономия топлива на тепловозах является мероприятием, которое содействует удешевлению себестоимости перевозок. Достаточно сказать, что по результатам анализа экономия 1 % дизельного топлива на тепловозе 2ТЭ116 сохраняет его за год в количестве до 20 тонн в расчете на 1 секцию.

Цель работы. Данная работа направлена на разработку мероприятий по повышению топливной экономичности магистральных тепловозов за счет совершенствования режимов работы энергетической установки, рационального совмещения внешней нагрузки с вырабатываемой ею мощностью. Задачей исследований при этом является разработка

технологических мер, направленных на обеспечение работы энергетического оборудования и экипажной части локомотива в ресурсосберегающих безаварийных режимах.

Материалы и результаты исследования.

Показателем, от которого напрямую зависит топливная экономичность, является механический к.п.д. тепловоза. Данный показатель не является постоянным на всех режимах работы - его максимальные значения соответствуют нагрузкам, близким к номиналу. Используя разные комбинации положений рукоятки контролера на разных скоростях движения машинист может провести полный поезд при наибольших значениях к.п.д. тепловоза [5,6].

Тяговые электродвигатели (ТЭД) также работают с самым большим к.п.д. при нагрузке, близкой к номинальной. Поэтому в некоторых случаях (легкий профиль, благоприятная погода), целесообразно при ведении поезда исключать из работы одну секцию тепловоза. Однако, рекомендовать эту меру надо после всесторонней проверки ее эффективности на практике, поскольку частые остановки дизеля на перегонах могут неблагоприятно отразиться на его работе. Следует отметить, что каждая остановка грузового поезда весом 3000 тонн обходится в дополнительной затрате около 30-ти кг дизельного топлива на последующее трогание с места и разгон.

Положительный топливный эффект может быть также получен за счет уменьшения расхода мощности двигателя на вспомогательные нужды. Для определения этого эффекта были получены, проанализированы и определены сравнительные энергозатраты бортового оборудования и вспомогательных агрегатов тепловоза 2ТЭ116 при номинальной мощности энергетической установки. Общие затраты на вспомогательные нужды работающей на тягу секции составляют 260,5 кВт, т.е. 11,6% при их затратах на неработающей на уровне 48,5 кВт. Таким образом, экономия энергоресурсов в расчете на тепловоз при переводе одной из секций в режим холостого хода составит

$$\Delta \dot{Y} = \frac{1}{2} 11,58 \frac{202 - 58,5}{260,5} \cong 4,5\% .$$

Топливная экономичность дизеля оценивается в соответствии с приведенными в паспорте тепловоза удельным эффективным расходом топлива g_e и эффективным кпд η_e на режиме номинальной нагрузки, однако, в условиях эксплуатации подобная оценка не соответствует действительности, потому, что дизели тепловоза значительную часть времени работают на неэкономичных и вспомогательных режимах, которые включают в себя прогрев дизелей при продолжительном отстое, холостой ход на остановках и во время движения, малые частичные режимы, разнообразные переходные процессы и т.д. Судя по теперешнему состоянию перевозочной

работы на железных дорогах, можно определить, что поезда имеют разнообразнейшие весовые нормы. Учитывая это, можно сделать вывод, что значительное количество поездов проводится по участкам обслуживания тепловозами с недоиспользованием своей мощности, которая приводит к нарушению режимов работы дизеля и вызывает увеличение расходов дизельного топлива. Если энергетическая установка работает с недогрузкой по мощности, что характерно для неполновесных поездов, то есть в частичных режимах, отдаленных от номинального, в низкооборотной области скоростной характеристики ДВС, которая с определенными допущениями составляет нижнюю половину всего диапазона изменения оборотов (350÷1000об/мин) то его топливные характеристики ухудшаются (рис. 1.1). Примем, что подобные соотношения будут характерным при работе двигателей на обеих секциях, а при работы на одной секции область топливной характеристики смещается к номиналу, то есть на участок CDE.

Оба эти участки соответствуют диапазонам изменения оборотов $\Delta n_{bc} = \Delta n_{cf} = 1000-675 = 325\text{об/мин} = 675-350\text{об/мин}$.

Ухудшение характеристик в сравнении с наиболее экономичным режимом (т. D) в диапазоне оборотов ($n_1; n_2$) можно приблизительно оценить, вводя интегральный удельный расход топлива

$$\sum G_e = \int_{n_1}^{n_2} g_e dn , \text{ который имеет размерность}$$

ng_e [об·г/л.с. ч.]. Поскольку речь идет о сравнительных исследованиях, такое допущение является корректным. Итак, рост интегрального удельного расхода топлива в сравнении с наиболее экономичным режимом работы дизеля (относительно т. D $\sum G_e = 325 \cdot 195 = 63375$) для работы двумя секциями, которую можно оценить площадью треугольника ABC, составляет $0,5 \cdot 15 \cdot 325 = 2437,5$, а для работы одной секцией составит сумму площадей двух треугольников: CDH и DEF, что составляет $0,5 \cdot 1 \cdot 125 + 0,5 \cdot 5 \cdot 200 = 562,5$. Таким образом, относительное ухудшение топливной экономичности дизеля тепловоза 2ТЭ116 при ведении неполновесного поезда соответственно двумя и одной секциями составит $(63375+2437,5)/(63375+562,5) = 65812,5/63937,5 \approx 1,03$.

Таким образом, при ведении неполновесного поезда одной секцией тепловоза 2ТЭ116 ожидаемое повышение топливной экономичности дизеля составит 3% (без учета экономии на вспомогательных нуждах тепловоза). При этом полная экономия топлива за счет перевода одной из секций в режим холостого хода составит $3 + 4,5 = 7,5\%$.

Работа дизелей тепловозов в режиме холостого хода связана с

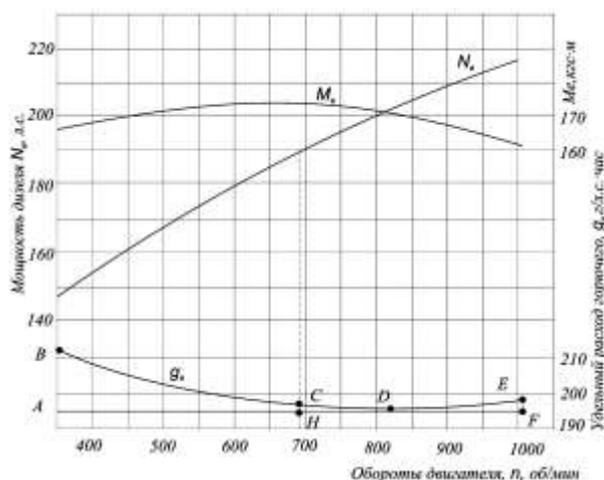


Рис. 1.1. Зависимость удельного расхода топлива двигателя тепловоза 2ТЭ116 от оборотов n и мощности N_e в расчете на 1 цилиндр дизеля

Требованиями поездной работы и необходимостью их прогрева. Уменьшение времени работы тепловозных дизелей на режимах холостого хода, при которых не осуществляется полезная работа, является одним из актуальных вопросов повышения среднеэксплуатационной экономичности тепловозов серии 2ТЭ116.

При малых нагрузках и частоте вращения увеличивается коэффициент остаточных газов. Ухудшение процесса горения, кроме ухудшения распыла топлива, связано также с увеличением периода задержки возгорания в условиях все более снижающихся (по мере уменьшения частоты вращения) температур и давления в конце сжатия и увеличением относительных потерь на участке горения- расширения, которые на режиме 400 об/мин достигают 20 % полученного от топлива тепла.

Работа топливной аппаратуры дизеля в режиме холостого хода крайне нестабильна. Впрыск топлива из-за неравномерного поднимания иглы форсунки выполняется также неравномерно, топливо сгорает не полностью. Если имеется неритмичность и неравномерность подач топлива, то после нормального впрыска топлива форсункой следует впрыск, который вызывает только рост остаточного давления в нагнетательном трубопроводе.

Одной из причин увеличения расходов дизельного топлива четырехтактными тепловозными дизелями при работе на холостом ходу является наличие газотурбинного наддува, потому, что увеличение противодавления выпуска превращает газотурбинный наддув в дополнительное сопротивление.

Отрицательно влияет на эксплуатационную экономичность и недостаточная приспособленность системы охлаждения дизеля тепловоза к ускоренному прогреву на продолжительных

стоянках и поддержание оптимальных значений температуры воды и масла при работе на малых нагрузках, особенно при минусовых температурах окружающей среды. Тепловоз на длительных остановках при температуре воздуха ниже $-15...-20^{\circ}\text{C}$ прогревается дизелем, который работает в режиме холостого хода практически в течение всего времени простоя. Значительное увеличение продолжительности холостого хода дизелей для отдельных серий тепловозов объясняется еще и тем, что длительность прогрева лимитируется отдельными наиболее подающимися перемерзанию узлами тепловоза, такими, как калорифер отопления кабины машиниста и отдельные участки водяной системы.

Количество механической работы тепловозных дизелей определяет расходы дизельного топлива тепловозными дизелями при вождении поездов. При одинаковом весе поезда и профиле пути выполненная работа, а также расходы топлива, зависят только от режима ведения поездов. Режимы, при которых достигается к.п.д. всей энергетической цепи тепловоза, близкий к максимальному, являются наиболее рациональными и экономичными режимами вождения поездов и они близки к номинальному.

Режим ведения поезда характеризуется скоростью движения поезда и расходами топлива, которые зависят от полезной механической работы дизелей и тягового электрического привода, израсходованной на движение поезда, а также от потерь энергии при ее превращении во всех энергетических цепях тепловоза.

Результат механической работы дизелей и тягового электрического привода на заданном участке пути можно привести в виде суммы составляющих:

$$A_m = A_{нэ} + A_{кр} + A_0 + A_m + A_{ин} \quad (1.1)$$

где $A_{нэ}, A_{кр}, A_0$ - механическая работа, которая затрачена, соответственно, на изменение потенциальной энергии поезда в поле тяготения, на преодоление сил сопротивления движения от кривых и сил основного сопротивления движения поезда;

A_m - механическая энергия, которая затрачена на торможение, соответственно, при регулировочных торможениях на спусках, при торможении поезда для снижения скорости или остановки;

$A_{ин}$ - механическая работа, затраченная на преодоление сил инерции при разгоне поезда

Механическая работа $A_{нэ}$, определяемая разностью уровней последовательно проходимых участков движения поезда, не зависит от скорости движения поезда, а как следствие и от режима ведения поезда.

Независимой от режима ведения поезда принимают также работу сил сопротивления движения от кривых участков рельсовой колеи.

Механическая работа A_0 которая израсходована на преодоление сил основного сопротивления движению, зависит от режима ведения поезда, поэтому, что величина силы удельного основного сопротивления зависит от скорости. Зависимость удельного основного сопротивления [7, 8] от скорости сборного железнодорожного поезда, составленного из j типов вагонов удобно представить в аналитическом виде следующей формулой:

$$\omega_0 = (a_n + b_n \cdot V + c_n \cdot V^2) \text{ Н/кН}, \quad (1.2)$$

где

$$a_i = \frac{a_{\varepsilon} \cdot P + a \cdot Q}{P + Q}; \quad b_i = \frac{b_{\varepsilon} \cdot P + b \cdot Q}{P + Q}; \quad c_i = \frac{c_{\varepsilon} \cdot P + c \cdot Q}{P + Q};$$

$$a_{\varepsilon} = 2,4; \quad b_{\varepsilon} = 0,011; \quad c_{\varepsilon} = 0,00035;$$

$$a = \sum_{j=1}^N \alpha_j \cdot \left(a_{0B} + \frac{a_{Bj}}{q_{0j}} \right); \quad b = \sum_{j=1}^N \alpha_j \cdot \frac{b_{Bj}}{q_{0j}}; \quad c = \sum_{j=1}^N \alpha_j \cdot \frac{c_{Bj}}{q_{0j}}$$

P и Q - вес соответственно локомотива и состава поезда.

Коэффициенты $a_{0B}, a_{Bj}, b_{Bj}, c_{Bj}$ принимаются из формул для удельного сопротивления вагонов соответствующего типа, приведенных в ПТР [8].

Движение поезда на разных участках может быть разным (равномерным, ускоренным или и тем и другим). Тогда механическую работу A_0 можно представить как сумму механических работ A'_0, A''_0 преодоления силы основного сопротивления движению соответственно, локомотива и состава вагонов при движении с постоянной или переменной скоростью. Потери энергии на разгон поезда могут быть учтены как разность кинетических энергий поезда, возникшая в результате разгона.

Механическая работа которая тратится на преодоление основного сопротивления на n участках пути длиной S_i с равномерным движением, равна:

$$A_0 = 1000(P + Q) \sum_{i=1}^n S_i (a_n + b_n \cdot V + c_n \cdot V^2) \quad (1.3)$$

Величина механической работы A_0 зависит от степени неравномерности скорости движения на каждом участке. Механическую работу A_{0n} , которая израсходована на преодоление основного сопротивления на участках участка пути с движением с разной скоростью, и на изменение скорости можно определить по соотношению для A'_0 при этом учитывая, что количество n участков S_i с равномерным движением, но разной скоростью большое, а их длина мала. При этом величина S_j

представляет собой длину пути, на котором изменяется скорость

$$A_{0n} = 1000(P + Q) \left[\sum_{j=1}^k S_j (a_n + b_n \cdot \bar{V} + c_n \cdot \bar{V}^2) + \frac{\Delta V_j^2}{2} \right] \quad (1.4)$$

где k - количество изменений скорости на участке;

S_j - длина участка пути, на котором изменяется скорость;

\bar{V}_j - средневзвешенное по пути значения скорости на участке разгона или замедления поезда;

Из полученной для A_{0n} формулы видно, что механическая работа уменьшается при уменьшении количества участков пути, на которых меняется скорость, и от их общей длины.

Зависимость A_{0n} от средневзвешенных значений скорости и разности их квадратов также подтверждает целесообразность уменьшения неравномерности скорости движения поезда для уменьшения механической работы по преодолению основного сопротивления движению.

Полная механическая работа по преодолению основного сопротивления движению, которая равняется сумме A'_0 и A_0 , составляет значительную часть общей механической работы A_M дизелей и тягового электрического привода при высоких скоростях движения на участках с преимущественно прямым профилем пути. Механическая работа зависит от скорости движения и от заданного времени хода поезда по участку.

При остановке или переводе в режим холостого хода одного из дизелей тепловоза для сохранности силы тяги и скорости движения поезда необходимо увеличить энергетическую нагрузку второго дизеля и тяговых электродвигателей.

Для измененных значений тока и напряжения тяговых электродвигателей записываем следующее равенство для скорости движения локомотива:

$$V = \frac{U_{g1} - I_{g1}r}{C\Phi_1} = \frac{U_{g2} - I_{g2}r}{C\Phi_2} \quad (1.5)$$

где $U_{g2}, I_{g2}, C \cdot \Phi_2$ - значение напряжения, тока, магнитного потока тягового электродвигателя при ведении поезда двумя секциями;

$U_{g1}, I_{g1}, C\Phi_1$ - значение напряжения, тока, магнитного потока тягового электродвигателя при ведении поезда

r - сопротивление тягового электродвигателя.

Далее определяем значение:

$$U_{g1} = \frac{(U_{g2} - I_{g2}r)C\Phi_1}{C\Phi_2} + I_{g1}r \quad (1.6)$$

Учитывая то, что падение напряжения $I_g r$ в тяговом электродвигателе составляет небольшую величину в сравнении с подведенным напряжением (3-5 %), приблизительно можно говорить, что напряжение U_{g1} увеличится пропорционально увеличению $C\Phi_1$:

$$U_{g1} = U_{g2} \frac{C \cdot \Phi_1}{C \cdot \Phi_2} \quad (1.7)$$

При переходе на ведение поезда одной секцией для уравниваемости сил сопротивления движению и поддержки неизменной скорости движения можно предположить, что силу тяги каждого тягового электродвигателя необходимо увеличить в два раза:

$$F_{g1} = 2F_{g2} \quad (1.8)$$

где F_{g1} - сила тяги, которую развивает тяговый электродвигатель при ведении поезда одной секцией;

F_{g2} - сила тяги, которую развивает тяговый электродвигатель при ведении поезда двумя секциями

Сила тяги, которую развивает тяговый электродвигатель, определяется по формуле:

$$F_g = 3.6C\Phi I_g - F \quad (1.9)$$

где F_g - сила тяги, которую развивает один тяговый электродвигатель;

C - постоянная тягового электродвигателя;

Φ - магнитный поток главного полюса;

I_g - ток тягового электродвигателя;

F - сила, которую тратят на преодоление механических и магнитных потерь в тяговом электродвигателе.

Увеличение силы тяги одного тягового электродвигателя при переводе на ведение поезда одной секцией в основном происходит из-за увеличения силы тока, который проходит через его обмотки, потому, что величина магнитного потока при насыщении магнитной цепи двигателя меняется незначительно, как и сила сопротивления F в расчете на один двигателя в сравнении с вариантом работы двух двигателей вместо одного. Поэтому работа одного нагруженного двигателя вместо двух недогруженных является энергетически выгодной.

При переходе на ведение поезда одной секцией контролер машиниста устанавливается на более высокие, а, поэтому и более экономические позиции, создается значительное увеличение тока

ТЭД, соответственно увеличивается мощность тяговых электродвигателей, увеличивается стабильность режима ведения поезда.

Выводы

1. В работе проанализированы и предложены способы обеспечения режимов движения локомотивного неполновесного поезда, рациональных для энергосбережения тяговым подвижным составом ЖД. Это отключение одной из секций при малой нагрузке энергетической установки тепловоза или его остановке, или перевод ее в режим холостого хода.

2. Выполнен анализ основных составляющих энергопотерь при движении поезда по железнодорожному пути, даны рекомендации по рациональным энергосберегающим режимам движения, предложено усовершенствованное аналитическое выражение в виде квадратичного полинома для определения основного удельного сопротивления поезда.

3. Выполнен анализ возможности снижения удельных затрат топлива на железной дороге при ведении неполновесных поездов, в частности, при ведении магистральными грузовыми локомотивами 2ТЭ116 пассажирских составов. Доказано, что в результате предложенных технологических мер может быть сэкономлено до 7...8 процентов топлива.

Литература

1. Векторы реформирования железнодорожной отрасли Украины. Локомотив информ №04(82) 2013, изд-во «Подвижной состав», г. Харьков.
2. Батис Ф. Модернизация подвижного состава // Ж. д. мира.- 1998.-№8.-С.11-21.
3. Пустовой В.Н. Перспективы развития подвижного состава и реорганизации ремонтной базы // Железнодорожный транспорт. – 2001. - №3. – С.10-16
4. Марков, В.А. Характеристики топливной подачи транспортных дизелей/В.А. Марков, В.Г. Кислов, В.А. Хватов.–Москва: Изд-во МГТУ им. Баумана,–1997.–160с
5. Кузнецов П.Г. Связь эффективности с использованием технических возможностей. /П.Г. Кузнецов // Альманах «Восток».–2004, № 2, февраль.–С. 5–7
6. И.Б. Сотников «Эксплуатация железнодорожного транспорта» М.: «Транспорт» 1990.-223с
7. П.Г.Гребенюк, А.Н.Долганов, А.И. Скворцов «Тяговые расчеты» М.: «Транспорт» 1987.-198с
8. Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

References

1. Vectors of reforming of railway branch of Ukraine. The locomotive an inform 04(82) 2013 publishing house "Railway vehicles", Kharkov.
2. Batis F. Modernizatsija of railway vehicles//Ж. д. Мира. - 1998. № 8.-S.11-21.
3. Pustovoj V.N. Perspektivy of development of railway vehicles and repair facility reorganisation//the Rail transport. - 2001. - №3. - C.10-16
4. Marks, V.A.Harakteristiki of fuel supply of transport diesel engines/century A.Markov, V.G.Kislov, V.A.Hvatov.- Moskva: Publishing house of MGTU of Bauman,-1997.-160s

5. P.G.Svjaz's Smiths of efficiency with usage of technical capabilities. / P.G.Kuznetsov//the Almanac "East".- 2004, № 2, fevral.-with. 5-7

6. I.B. Sotnikov «Rail transport Operation» M: "Transport" 1990.-223c

7. P.G. Grebenjuk, A.N. Dolganov, A.I. Starling «Thrust calculations» M: "Transport" 1987.-198c

8. Rules of thrust calculations for train activity. - M: Transport, 1985. - 287 with.

Kushchenko A.V., Semin J.G., Kruzhilin I.V.

RAISE OF FUEL PROFITABILITY OF VEHICLES BY RATIONALIZATION OF OPERATIONAL MODES OF THE PROPULSIVE PLANT

In activity cost analysis of power by a series diesel locomotive 2ТЭ116 on traction and for auxiliary needs is conducted, methods of decrease in costs of power resources are recommended for locomotive activity on miscellaneous modes. Calculations of comparative fuel profitability by propulsive plant activity on low partial and subnominal modes are executed.

Keywords: *a diesel locomotive, section, traction, an operational mode, the core, idling, not sound train, a diesel fuel, the electrical circuit, train activity, ресурсосбережение.*

Кущенко Александр Владимирович, к.т.н., доц., кафедры «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Семин Юрий Григорьевич, к.т.н., доц., кафедры «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Кружилин Игорь Валериевич, студент гр. ТЛЗ-771м, кафедры «Транспортные системы», института «Транспорт и логистика», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Kushchenko Alexander Vladimirovich is PhD in Technological Sciences, Associate Professor, Transport Systems departments, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Semin Yury Grigorevich is PhD in Technological Sciences, Associate Professor, Transport Systems departments, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Kruzhilin Igor Valerievich, the student of educational group TLz-771m Transport Systems departments, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана: 23.03.2019

УДК 621.433

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Шевченко Д.Ю.

IMPROVEMENT OF THE CONSTRUCTION OF GAS GENERATOR INSTALLATIONS OF AUTOMOBILE TRANSPORT

Shevchenko D.Yu.

В статье проведен анализ современных технологий газификации твердых топлив, рассмотрены компоновки современных газогенераторных установок и выделены основные направления работ по дальнейшему совершенствованию автомобильных газогенераторных установок.

Ключевые слова: биомасса, газогенераторные автомобили, шнековый транспортер, пеллеты, горелки объемного горения, коэффициент объемной загрузки.

Введение. Реализации программы «Индустрия-4.0» предшествовало осуществление ранее трех основных промышленных революций:

«Индустрия-1.0» (внедрение машинного производства на паровом двигателе);

«Индустрия-2.0» (внедрение массового поточного производства, использование электрического двигателя и двигателя внутреннего сгорания);

«Индустрия-3.0» (автоматизация производства, внедрение электроники и достижений информационных технологий).

Эти модели производства в настоящее время обнаруживают множество серьезных недостатков, одним из которых являются растущие экологические проблемы. Новая промышленная революция «Индустрия 4.0» призвана исправить накопившиеся негативные факторы [1].

Индустрия 4.0 – это и один из самых главных элементов современного производства, и новая парадигма в конкурентной среде, и необходимое условие реализации циклической экономики.

Ключевые элементы циклической экономики [2, 3]:

- рациональное использование природных и технических ресурсов;
- минимизации потребления первичного сырья и снижения отходов, направляемых на захоронение;
- приоритет использования возобновляемых, нетоксичных материалов и энергоресурсов;

- вторичная переработка всех отходов и получение из них новых товаров, сырья или энергии;

- максимально эффективное энергосбережение;

- применение цифровых технологий в том числе на транспорте;

- взаимодействие участников цепи поставок из различных секторов экономики.

Во многих странах, включая наиболее развитые (прежде всего импортирующие нефть), активизировались работы по развитию технологий использования местных и возобновляемых источников энергии [4].

Газификация в газогенераторных установках является наиболее эффективным способом переработки местных и возобновляемых источников энергии. Для получения генераторного газа используются, в зависимости от типа слоя сырья и способу подвода окислителя, технологии, которые могут быть разделены на газификацию в плотном (неподвижном) слое с восходящим и нисходящим поперечным движением газа, газификацию в кипящем слое и газификацию в потоке [5, 6].

Исследования ведутся в направлении создания и усовершенствования оборудования для термохимической конверсии биомассы. Необходимость развития этого направления обусловлена экологическими проблемами, повышением энергетических потребностей человечества, исчерпанностью запасов ископаемых топлив и как следствие их удорожанием.

В связи с чрезвычайными ситуациями для нашего региона актуальным источником получения топлива для обслуживания сельскохозяйственной, лесоперерабатывающей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства являются альтернативные виды топлива. Республика обладает запасами таких видов топлива, как каменный уголь, биотопливо из отходов деревообрабатывающей промышленности, биомассы из растений. Для нее является актуальной реализация программы

«Индустрия-4.0» по развитию технологии использования местных и возобновляемых источников энергии. Развитие этой технологии требует создание новых и совершенствование известных газогенераторных установок, в том числе для автомобильного транспорта.

Целью работы является определение основных направлений конструктивного совершенствования газогенераторных установок для промышленного транспорта.

Материалы и результаты исследования.

Газогенераторные автомобили разделяют на две группы: работающие на жидком топливе, переоборудованные для временной работы на генераторном газе; специально изготовленные для постоянной работы на генераторном газе. К первой группе относятся легковые и небольшие грузовые автомобили, обладающие при работе на бензине большим запасом мощности. Экономически выгодными являются газогенераторные автомобили среднего и большого тоннажа второй группы [7].

Известно, что одним из наиболее удачных технических решений является газогенератор типа Imbert. Подобные газогенераторы выпускались многими автомобильными компаниями, включая GM, Ford, Mercedes-Benz. В настоящее время фирмы Франции, VOLVO (Швеция), «Аттик» Украина, ООО «Наша-Энергия», Украина, группа компаний "Адаптика", Россия выпускают автомобильные газогенераторы, не требующие какой-либо серьезной переделки автомобиля, которые устанавливаются: на прицепе; внутри кузова; между кузовом и кабиной (рис. 1) [7, 8].

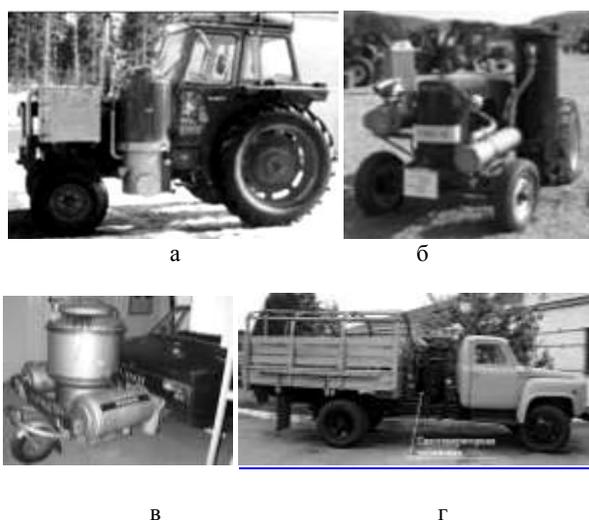


Рис. 1. Схемы расположения газогенераторных установок: а, б - газогенераторный трактор с газогенераторной установкой типа «Имберт» (Швеция, 1976г.), (Франция, 2004г.); в - прицепная газогенераторная установка типа «Имберт» фирмы VOLVO (Швеция, 2002г.) г - газогенераторная установка на автомобиле ГАЗ-52

Известны способы получения генераторного газа из торфа, влажной древесины или ее отходов

для питания ДВС в которых используются газификаторы, выполненные в виде вертикального аппарата обращенного процесса газификации и снабженные различного вида устройствами предварительной подсушки топлива, подаваемого на газификацию или осушения газа на выходе [6-8].

К основным недостаткам, ключевых элементов экономики выпускаемых автомобильных газогенераторов, относятся:

1. Не рациональное использование природных и технических ресурсов, а именно:

- уменьшение полезной площади транспортного средства; использование кускового твердого топлива;

- большие габаритные размеры;

- использование всей массы топлива, что необходимо для обеспечения стабильной работы;

- необходимость периодичной дозагрузки, при которой происходит разгерметизации системы;

- высокие требования к качеству и составу топлива;

- повышение стоимости топлива из-за необходимости его тщательной подготовки (отсевание мелочи, сортировка по размерам кусков для достижения равномерности фракционного состава и увеличения интенсивности процесса газификации). [5, 6, 7].

2. Не применяются цифровые технологии, что не позволяет автоматизировать эксплуатацию газогенератора.

3. Не достаточно эффективное энергосбережение.

4. Отсутствие взаимодействия участников цепи поставок из различных секторов экономики.

Разработка конструкции транспортного газогенератора связана, прежде всего, с выбором типа исходного топлива. Анализ современной литературы показывает, что наиболее перспективным твердым топливом для транспортных газогенераторов следует считать пеллеты. Исходным сырьем для производства пеллет являются солома, лузга подсолнечника и гречихи, рапс, конопля, отходы деревообработки [5, 6].

Для газификации пеллет применяются пеллетные горелки КПД которых доходит до 97 % и более. Горелка обеспечена транспортирующим органом составной частью которого является шнек, галогенной лампой для быстрого розжига топлива по всему объему жаровни, датчиком пламени, системами автоматического золоудаления, датчиком переполнения шнека гранулами дисплеем ПУ. При помощи кнопок на пульте управления выставляется нужный режим работы, периодичность подачи топлива в горелку и температура, в зависимости от заданных настроек. На дисплей выводится не только информация о работе оборудования, но и о возможных ошибках и неисправностях, о которых сигнализируют специальные символичные индикаторы. Применение пеллетной горелки в качестве одного из основных элементов газогенераторной установки установленной на

автомобиле позволит применять цифровые технологии, что в свою очередь обеспечивает автоматизацию процесса газификации и устойчивую эксплуатацию автомобиля [6, 9, 10].

В данной работе было использовано физическое моделирование, т.е. исследование физически подобных процессов на установках, сохраняющих физическую природу явлений, но воспроизводящих их в других размерах в смысле геометрическом или физическом. Особенностью модели при физическом моделировании является ее одинаковая природа с натурным объектом (натурой, образцом, оригиналом), т.е. для модели и для натуры применяются одни и те же загрузочные материалы и шнек с ворошителем. Модель и натура при физическом моделировании обязательно связаны полученной теоретической зависимостью в виде расчетного масштабного фактора, который является совокупностью всех масштабных коэффициентов перехода от модели к натуре для параметров режима работы, конструкции.

В данной работе физическое моделирование реализовано на малогабаритной модели, что позволило:

1) экономить материалы, энергию при испытаниях и сырье;

2) существенно экономить время, связанное с подготовительно-заключительными операциями испытаний; значительно уменьшается объем работ, связанных с тяжелыми операциями монтажа и демонтажа узлов перемещения груза в эксплуатационных условиях;

3) уменьшить затраты на строительство дорогостоящих натуральных стендов, аренду помещений.

В результате при минимальных затратах времени на модели получены объективные характеристики, тождественные аналогичным характеристикам натурального объекта.

Для транспортирования топлива в pelletную горелку была предложена модель с масштабным коэффициентом 1,5 по разработанной и запатентованной схеме (рис. 2,а) [11], где основными рабочими элементами схемы являются верхний ленточный шнек 8 в бункере 1 и нижний сплошной винтовой шнек 12 в кожухе 13. Топливо транспортируется из бункера 1 ленточным шнеком 8 в кожух 13 через разгрузочное окно 4. Далее топливо транспортируется сплошным винтовым шнеком 12 в pelletную горелку.

На рис. 2,б показано начало подачи топлива в подсоединенный патрубок, имитирующий подъемный участок pelletной горелки, а на рис. 2,в – подъем топлива на необходимую высоту.

Конструктивные параметры нижнего шнека: диаметр кожуха шнека – 53 мм; диаметр шнека по наружной кромке – 40 мм; шаг винтовой нитки шнека – 27 мм; диаметр вала шнека – 16 мм. Частота вращения нижнего шнека – 95 об/мин (постоянная во всех опытах). Коэффициент заполнения нижнего

шнека варьировали в пределах 0,2 - 0,6 изменением частоты вращения верхнего ленточного шнека. Диаметр разгрузочного окна между верхним и нижним шнеками оставался постоянным и равным 55 мм. Диаметр разгрузочного окна принимался исходя из экспериментально определенного диаметра сводообразующего отверстия – 40 мм. Через отверстие меньшего диаметра топливо не течет.

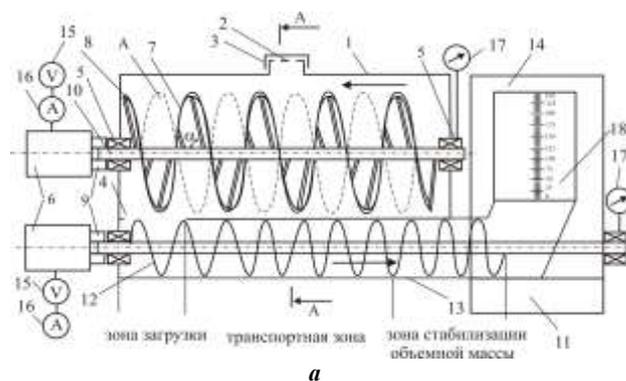


Рис. 2. Питатель автомобильного газогенератора:
 а - схема конструкции питателя автомобильного газогенератора: 1 – бункер – ворошитель, 2 – загрузочный люк, 3 – крышка люка, 4 – разгрузочное окно, 5 – подшипниковые узлы, 6 – приводы шнеков pelletной горелки и бункера-ворошителя, 7 – ребра-лопасти, 8 – ленточный шнек, 9 – муфта, 10 – вал ленточного шнека 8, 11 – зольник, 12 – сплошной шнек pelletной горелки, 13 – pelletная горелка, 14 – камера газификации, 15 – вольтметр, 16 – амперметр, 17 – тахометр ТСЧ, 18 – прозрачный патрубок;
 б, в - экспериментальная установка питателя газогенератора.

К выходному концу кожуха, в котором расположен нижний шнек, подсоединен патрубок, имитирующий подъемный участок pelletной горелки. Высота патрубка – 250 мм. Патрубок имеет градуированную шкалу по высоте подъема топлива в 10, 20, 30...250 мм. Топливо из бункера - ворошителя ленточным шнеком равномерно подается в кожух нижнего шнека до тех пор, пока не произойдет заклинивание нижнего шнека. В момент заклинивания нижнего шнека питание установки выключалось. После этого фиксировалась высота столба топлива относительно плиты, на которой закреплен кожух нижнего шнека. Патрубок, заполненный топливом, снимался, и топливо взвешивалось. Критическое давление со стороны топлива на нижний шнек, при котором происходит заклинивание нижнего шнека, определялось как

отношение массы топлива в патрубке в момент заклинивания шнека (G_r) к эффективной площади поверхности шнека (F):

$$P_{кр} = \frac{G_r}{F}. \quad (1)$$

При диаметре шнека по наружной кромке 40 мм и диаметре вала шнека 16 мм площадь поверхности шнека $F = 1400 \text{ мм}^2$.

Фактический коэффициент загрузки винтового транспортера определяются как:

$$\psi_f = (1-k)\psi, \quad (2)$$

где ψ – коэффициент объемной загрузки винтового транспортера (коэффициент заполнения межвиткового пространства).

Производительность шнекового питателя определялась из соотношения:

$$П = \frac{G}{t}, \quad (3)$$

где G – текущая масса топлива в патрубке, соответствующая данной высоте его подъема;

t – время подъема топлива на данную высоту.

Текущее давление топлива на шнек рассчитывалось по формуле:

$$p = \frac{G}{F}. \quad (4)$$

Эксперименты показали, что с ростом коэффициента заполнения нижнего шнека с 0,2 до 0,6 максимальная высота подъема топлива в патрубке интенсивно снижается, причем наиболее интенсивно при увеличении коэффициента заполнения от 0,2 до 0,4. Аналогичным образом с ростом коэффициента заполнения нижнего шнека изменяется максимальная масса топлива в патрубке (рис. 3) и максимальное давление топлива на нижний шнек (рис. 4).



Рис. 3. Влияние коэффициента загрузки нижнего шнека на максимальную массу топлива в патрубке над шнеком



Рис. 4. Влияние коэффициента загрузки нижнего шнека на максимально допустимое давление топлива на шнек

Наблюдаемые закономерности в работе нижнего шнека можно объяснить, используя основные положения теории пассивных областей. Пассивные области образуются на винтовой поверхности шнека. В пассивных областях частицы топлива силами трения прижимаются к поверхности шнека и не транспортируются, вращаясь вместе со шнеком. При увеличении высоты столба топлива над шнеком увеличивается масса топлива над шнеком и давление топлива на шнек. Как следствие, возрастает сила трения между винтовой поверхностью шнека и топливом. Увеличение силы трения между поверхностью шнека и топливом расширяет пассивную область на шнеке. Пройдя пассивную область, частицы топлива перебрасываются назад через вал шнека, уменьшая таким образом его производительность. При некотором критическом коэффициенте заполнения шнека и некотором критическом давлении топлива на шнек объем топлива, забрасываемый назад за лопасть шнека, превысит объем топлива, транспортируемый вперед. В этом случае неизбежно произойдет заклинивание шнека. Причем для заклинивания шнека достаточно, чтобы забились рабочее пространство вокруг двух-трех его выходных лопастей. Это предположение подтверждается видеосъемкой процесса работы и заклинивания нижнего шнека, а также снижением производительности шнека с ростом давления на него топлива (рис. 5). Перед заклиниванием выходные лопасти шнека интенсивно забрасывают топливо назад, причем интенсивность такого забрасывания сильно возрастает при увеличении коэффициента загрузки нижнего шнека.



Рис. 5. Влияние давления топлива на шнек (P) на производительность питателя транспортного газогенератора с пеллетной горелкой при коэффициенте объемного заполнения шнека $\psi = 0,25$

Таким образом, при конструировании шнекового питателя необходимо учитывать давление топлива в пеллетной горелке на шнек. Степень влияния давления топлива на работу питателя сильно зависит от коэффициента заполнения шнека. С ростом коэффициента заполнения шнека ощутимо снижается максимально допустимое давление пеллетного топлива на шнек, выше которого происходит заклинивание шнека. По мере увеличения давления топлива на шнек сильно снижается производительность питателя.

Выводы. Установлено, что при использовании горизонтально расположенного транспортного газогенератора включающего пеллетную горелку объемного типа удастся выполнить все ключевые элементы циклической экономики.

Экспериментально доказано влияние коэффициента загрузки винтового транспортера и давления столба топлива на шнек на условия работы питателя транспортного газогенератора с пеллетной горелкой, даны рекомендации и определены:

1. Критические коэффициенты загрузки винтового транспортера и критические давления столба топлива на шнек, при которых еще возможна устойчивая и бесперебойная работа питателя.

2. Допустимые давления на шнек со стороны топлива составляют:

- $3,5 \cdot 10^{-10}$ кг/м², при коэффициенте заполнения шнека 0,2;
- $2,3 \cdot 10^{-10}$ кг/м², при коэффициенте заполнения 0,3;
- $1,4 \cdot 10^{-10}$ кг/м², при коэффициенте заполнения 0,4;
- $0,9 \cdot 10^{-10}$ кг/м², при коэффициенте заполнения 0,6.

3. Рекомендации по ограничению коэффициента заполнения шнека при увеличении давления топлива на шнек носят обобщающий характер и могут быть применены для шнеков любого диаметра.

Литература

1. Пахомова Н. В., Рихтер К. К., Ветрова М. А. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям

поставок как фактор устойчивого развития // Вестник СПбГУ. Экономика. 2017. Т. 33. Вып. 2. С. 244–268.

2. Евсеев Д.З., Зайцева М.М., Косенко В.В., Котесова А.А., Шульга Т.К. Индустрия 4.0 и автомобильный транспорт // Инженерный вестник Дона, 2018, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4919.

3. Терентьев Н.Е. «Зеленая» энергетика в системе технологий новой промышленной революции // Научные труды ИПП РАН, 2016. С.226-240

4. Губачева Л.А., Андреев А.А., Шевченко Д.Ю. О перспективах использования газогенераторов в угольной промышленности // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 6/2008 (53). Частина 1. с. 67-68.

5. Лось Л.В. Перспективи розширення використання обладнання для газифікації біомаси в умовах сільських господарств полісся / Л.В. Лось, Л.В Романишин, А.А. Голубенко, А.А. Цивенкова Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету, 2012. - №10 т. 1 (58), С. 66-78.

6. Шевченко Д.Ю. Направление работ по усовершенствованию газогенераторных установок для промышленного транспорта / Д.Ю. Шевченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля, 2013, - №9 (198). - Частина 1, Луганськ, 2010. – С. 254-261.

7. Токарев Г.Г. Газогенераторные автомобили / Г.Г. Токарев / Машгиз., 1955. – 205 с.

8. Самылин А.А. Настольный справочник конструктора газогенераторный установок / А.А. Самылин, Н.М. Цивенкова / ДАУ Житомир 2007. – 555 с.

9. Обзор современных технологий газификации биомассы/ Т.А. Железная, Г.Г. Гелетуха // Промышленная теплотехника: международный научно-прикладной журнал. - К.: Издательство "Логос". - ISSN 0204-3602. - 2006. – Том 28, N 2. - С. 61-75. - Библиогр. в конце ст.

10. Obernberger J. Decentralized Biomass Combustion: State of the Art and Future Development // Biomass and Bioenergy. - 1998. - Vol. 3, №1. - P. 33-56.

11. Пат. 67440 Украина, МПК F23K 3/00 Пристрій для подачі твердого палива до установок для спалювання / Губачева Л.О., Андреев О.О., Шевченко Д.Ю.; заявник Губачева Л.О., патентовласник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля; – № 201107909 ; заявл. 23.06.2011; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 4.

References

1. Pahomova N.V., Rihter K.K., Vetrova M.A. Perekhod k cirkulyarnoy ekonomike i zamknutym cepyam po-stavok kak faktor ustojchivogo razvitiya // Vestnik SPbGU. Ekonomika. 2017. T. 33. Vyp. 2. S. 244–268.

2. Evseev D.Z., Zajceva M.M., Kosenko V.V., Kotesova A.A., Shul'ga T.K. Industriya 4.0 i avtomobil'nyj transport // Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4919.

3. Terent'ev N.E. «Zelenaya» energetika v sisteme tekhnologij novoj promyshlennoj revolyucii // Nauchnye trudy INP RAN, 2016. S.226-240

4. Gubacheva L.A., Andreev A.A., Shevchenko D.Yu. O perspektivah ispolzovaniya gazogeneratorov v ugolnoi promyshlennosti // Visnik KDPU imeni Mihaila Ostrogradskogo. Vypusk 6/2008 (53). Chastyna 1. s. 67-68.

5. Los L.V. Perspektivi rozshirennya vikoristannya obladnannya dlya gazifikacii biomasi v umovah sil'skih gospodarstv polissya / L.V. Los, L.V Romanishin, A.A. Golubenko, A.A. Civenkova Zbirnik naukovih prac' Vinnic'kogo

nacional'nogo agrarnogo universitetu, 2012. - №10 t. 1 (58), S. 66-78.

6. Shevchenko D.Yu. Napravlenie rabot po usovershenstvovaniyu gazogeneratornykh ustanovok dlya promyshlennogo transporta / D.Yu. Shevchenko // Visnik Skhidnoukraiïnskogo nacional'nogo universitetu imeni V. Dalya, 2013, - №9 (198). - Chastina 1, Lugans'k, 2010. - S. 254-261.

7. Tokarev G.G. Gazogeneratornie avtomobili / G.G. Tokarev / Mashgiz., 1955. - 205 s.

8. Samylin A.A. Nastol'nyy spravochnik konstruktora gazogeneratornykh ustanovok / A.A. Samylin, N.M. Civenkova / DAU Zhitomir 2007. - 555 s.

9. Obzor sovremennih tehnologii gazifikatsii biomassi / T.A. Jeleznaya, G.G. Geletuha // Promishlennaya teplotehnika: mejdunarodnii nauchno-prikladnoi jurnal. - K.: Izdatelstvo "Logos". - ISSN 0204-3602. - 2006. - Tom 28, N 2. - С. 61-75. - Bibliogr. v konce st.

10. Obernberger J. Decentralized Biomass Combustion : State of the Art and Future Development // Biomass and Bioenergy. - 1998. - Vol. 3, № 1. - P. 33-56.

11. Yudushkin N.G. Generatornie traktori / N.G. Yudushkin/ Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdanie mashinostroitelnoi literature. - 1955. - 242 s.

Shevchenko D.Yu.

IMPROVEMENT OF THE CONSTRUCTION OF GAS GENERATOR INSTALLATIONS OF AUTOMOBILE TRANSPORT

The article analyzes the modern technology of gasification of solid fuels, discussed the layout of modern gas-generating plants and the basic directions of work to further improve the car gas-generating plants.

Keywords: biomass, gas-generating cars, screw conveyor, pellets, bulk combustion burners, flare Pellet burners, screw-turner.

Шевченко Дарья Юрьевна, старший преподаватель кафедры промышленный и городской транспорт. Институт транспорта и логистики », ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля». г. Луганск.

E-mail: shevchenkodu@mail.ru

Shevchenko Darya, Senior Lecturer of the «Industrial and urban transport» State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: shevchenkodu@mail.ru

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 30.03.2019

УДК 656.2.073 (478)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СМЕННО – СУТОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Семи́н Ю.Г., Ломачу́к Д.А.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF REPLACED - DAILY PLANNING ON THE RAILWAY

Semin Y.G., Lomachuk D.A.

Статья посвящена разработке модели оперативного планирования грузовой и поездной работы на железной дороге, а также разработке технологии функционирования автоматизированных рабочих мест (АРМ) работников железнодорожной станции, что даст возможность в начале планового периода рационально перераспределить вагонный парк.

Ключевые слова: железная дорога, поездопотоки, сменно-суточное планирование.

Введение. Оперативное планирование работы железной дороги осуществляется с целью выполнения задач по приему и отправлению поездов и вагонов по всем станциям дороги, в т.ч. порожних вагонов в регулирование, погрузки и выгрузки, перевалки и сортировки вагонов и грузов, а также выполнение графика движения и плана формирования поездов и основных качественных показателей работы. Управление дороги на основании суточных планов, предоставленных станциями, разрабатывают суточный план поездной и грузовой работы станции и передают его на станцию за 3 часа до начала планируемых суток. В суточном плане выделяется объем работы, который должен быть выполнен каждой станцией дороги в первой половине суток. Начальники станций или его заместители на основе суточного плана-задания дороги составляют план грузовой работы станции. Суточный план каждой станции уточняют и корректируют в начале второй половины суток в зависимости от оперативной обстановки, сложившейся результатов работы за первую половину суток и передают его в управление дороги для утверждения начальником службы перевозок. На основе информации о подходе поездов и локомотивов в сменном плане для станции на всю смену устанавливаются размеры отправления поездов по направлениям. На первые 4, ..., 6 ч. в плане указываются назначения и индексы поездов, номера локомотивов. Каждому поезду согласно графику движения присваиваются номера.

Анализ существующей технологии сменно – суточного планирования на ЛугЖД. В настоящее время, согласно отчетным данным ЛугЖД, наблюдаются резкие колебания объемов перевозок, которые в большинстве случаев обусловлены сезонным фактором и фактором приближения к отчетному периоду. Факт наличия указанных колебаний вызывает серьезные трудности при планировании работы железной дороги, которая связана с организацией и продвижением вагонопотоков и, в свою очередь, негативно отражается на рациональном использовании основных средств транспорта. В таких условиях достаточно трудно четко спланировать работу подразделений, что влечет за собой необходимость постоянного оперативного вмешательства в разработку сменно-суточных планов. Но оперативное вмешательство, в свою очередь, осложняется и фактически теряет смысл оперативности из-за низкого уровня автоматизации процесса планирования и мониторинга выполнения планов эксплуатационной работы.

Этот факт негативно влияет на объективность разработки и корректировки сменно-суточных планов и, в свою очередь, фактически приводит к потере возможности быстрого реагирования и оперативного вмешательства в процесс управления перевозками еще на этапе составления сменно-суточных планов работы. Основное значение при сменно-суточном планировании приобретает влияние так называемого «человеческого фактора», что напрямую отражается на рациональном использовании вагонов, локомотивов, локомотивных бригад и существующем путевом развитии. Поэтому в настоящее время приобретает актуальность автоматизация технологии сменно-суточного планирования, которая исключает влияние человеческого фактора и позволяет разрабатывать оптимальный сменно-суточный план.

Материалы и результаты работы. На железной дороге очень остро стоит проблема

скорости передачи информации средствами вычислительной техники. Нередко возникают ситуации, когда поезд фактически прибыл на станцию назначения и не может быть расформирован, поскольку информация об этом не было введено в автоматизированную систему передачи данных по причине низкой пропускной способности информационных каналов. Согласно этого, необходимо разрабатывать новые подходы к передаче и анализу информации о составленных планах в сутки с последующим предоставлением вариантов выполнения сменных планов. Так, например, необходимо обеспечить программно-аппаратную возможность постоянного обновления в

режиме реального времени предыдущей информацией о состоянии погрузки и выгрузки вагонов, формирование-расформирование поездов, места дислокации маневровых и поездных локомотивов, техническое состояние вагонов и локомотивов, занятость путей и др. Это станет возможным только при условии разработки автоматизированной системы сменно-суточного планирования с широким спектром задач при ее непосредственной интеграции в сетевую автоматизированную систему ЛугЖД. Прототипом структуры сменно-суточного планирования может быть структура, приведенная на рисунке 1.

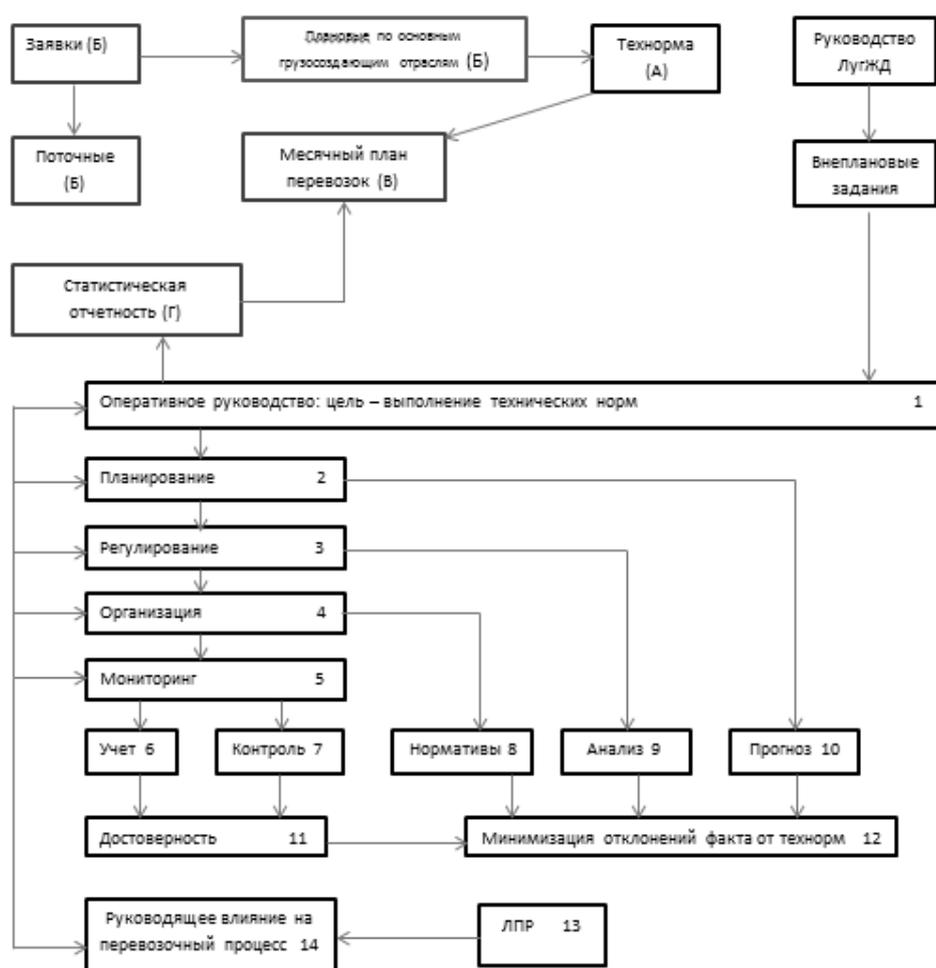


Рис. 1 Общий контур управления перевозочным процессом

На рисунке 1 представлен общий контур управления перевозочным процессом, в котором должна функционировать управляющая система. Как видно из рисунка, целевой функцией оперативного управления является «Выполнение месячных технических норм эксплуатационной работы» (блок 1), которые формируются отдельной подсистемой «Техническое нормирование» (блок А) на основе заявок

клиентуры (блок Б), месячного плана перевозок (блок В) и накопленных статистических данных (блок Г).

Достижение цели «выполнение технических норм» достигается четырьмя взаимосвязанными контурами управления:

– мониторинг (блок 5), куда входят функции учета (6) и контроля (7);

- организация перевозок (4), куда входит «мониторинг» и с добавлением функции – «нормативы» (8);
- регулирования процесса перевозок (блок 3), куда входит блок «организация и функция анализа» (9);
- планирование перевозок (блок 2), как самый высокий контур управления, в котором задействованы все перечисленные функции и

дополнительно включается функция «прогнозирование» (10).

Для обеспечения эффективного сменно-суточного планирования необходимо создать первичную информационную базу, основанную на документах учета грузовых перевозок. На рисунке 2 приведен алгоритм расчета рационального варианта плана.

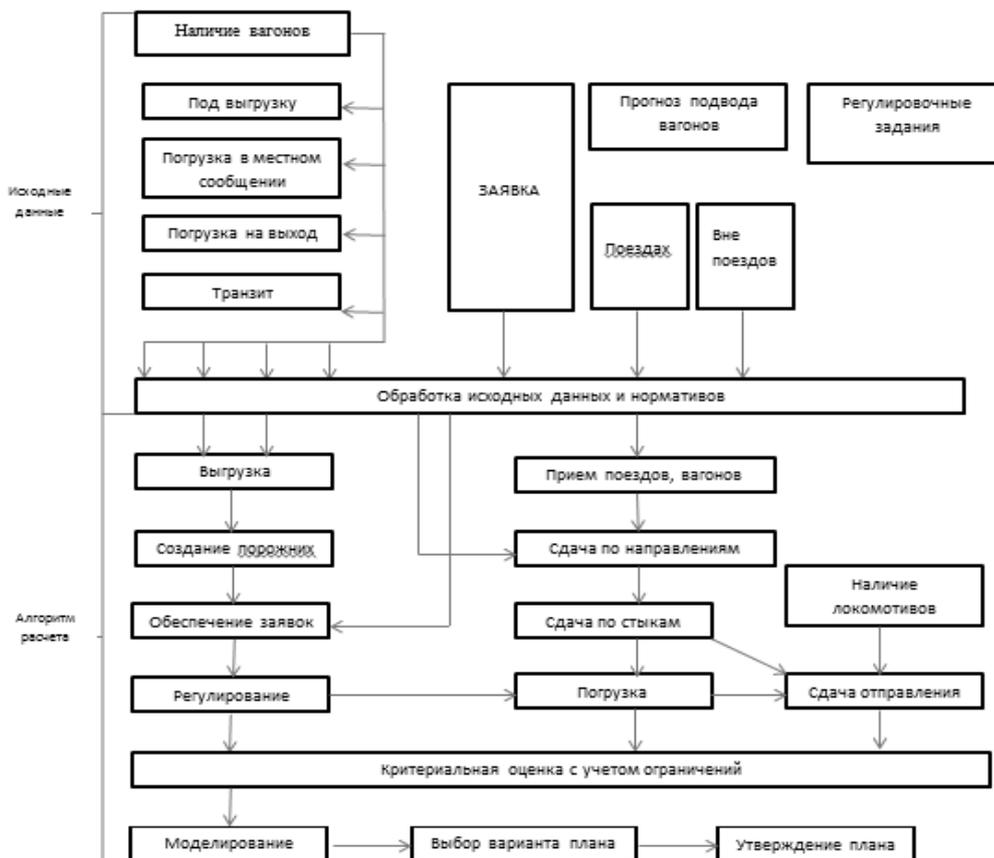


Рис. 2 Алгоритм расчета рационального варианта плана

После определения реквизитов начальных условий, пошаговые действия расчета показателей осуществляются в следующей последовательности:

- происходит мониторинг базы данных, в результате которого создается информационный массив по вагонам, соответствующие определенным реквизитам начальных условий расчета;
- с этого массива происходит формирование цепочек последовательностей учетных операций с вагонами;
- из сложившихся цепочек путем логического сравнения последовательностей операций для идентификации выделяются и фиксируются выполненные и неполные циклы обращения каждого вагона;
- к информационному массиву после мониторинга базы данных по заданному сроку

расчета T заносятся N_p вагонов, каждый из которых имеет определенный ряд идентифицированных полных и неполных циклов обращения $M_p (i \dots, j)$;

- зафиксированные циклы группируются по видам обращения и в соответствии с группами полных и неполных;
- по результатам группировки получают отдельные промежуточные расчетные группы состава.

Кроме того, определяются следующие данные:
 N вагонов (N_1, N_2, N_n) – количество зафиксированных в результате мониторинга системы согласно исходным условиям (за данный отрезок отчетного времени на данном подразделении) вагонов и время выполнения транспортных операций (TN_1, TN_2, TN_n);

M (M_1, M_2, \dots, M_n и \dots, j) – среднее время законченных и незаконченных перевозочных циклов по их видам (суток);

R (R_1, R_2, \dots, R_n) – время случаев ремонтов и от отношения к резерву в составе циклов (суток);

k – количество законченных циклов обращения.

Тогда средний оборот вагонов, сутки:

$$O_{\text{сн}} = [(M_1 + M_2 + \dots + M_n) - (R_1 + R_2 + \dots + R_n)] / k. \quad (1)$$

Далее целесообразно рассмотреть перечень и способы получения форм, основанных на номерном учете вагонов. Среднее время обращения вагона в сутках или часах. Для вагонов с истекшими (полными) циклами обращения за данный отрезок отчетного времени на данном полигоне, сутки:

$$O_{\text{нц}} = [(M_1 + M_2 + \dots + M_k) - (R_1 + R_2 + \dots + R_r)] / N_k, \quad (2)$$

где N_k (N_1, N_2, N_k) – количество зафиксированных в результате мониторинга системы согласно исходных условий (за данный отрезок отчетного времени на данном подразделении) вагонов с истекшими (полными) циклами обращения;

(M_1, M_2, \dots, M_k) – суммарная продолжительность законченных (полных) циклов зафиксированных вагонов (суток);

R (R_1, R_2, \dots, R_r) – суммарное время случаев ремонтов и от отношения к резерву за данный отрезок отчетного времени на данном подразделении вагонов с истекшими (полными) циклами обращения (суток);

k – количество законченных циклов обращения.

Для вагонов с неполными циклами обращения за данный отрезок отчетного времени на данном полигоне:

$$O_{\text{нц}} = [(M_1 + M_2 + \dots + M_k) - (R_1 + R_2 + \dots + R_n)] / N_n \text{ (суток)}, \quad (3)$$

где N_n (N_1, N_2, N_n) – количество зафиксированных в результате мониторинга системы согласно исходных условий (за данный отрезок отчетного времени на данном подразделении) вагонов с неполными циклами обращения;

(M_1, M_2, \dots, M_n) – суммарная продолжительность неполных циклов зафиксированных вагонов (суток);

R (R_1, R_2, \dots, R_n) – суммарное время случаев ремонтов за данный отрезок отчетного времени на данном подразделении вагонов неполными циклами обращения (суток);

n – количество законченных циклов обращения.

Средневзвешенное время обращения:

$$O = (O_{\text{нц}} \cdot N_k + O_{\text{нц}} \cdot N_n) / N_k + N_n. \quad (4)$$

Выводы:

1. Планы перевозок грузов, как основа для составления плана формирования грузовых поездов,

не соответствуют современным требованиям с существованием отклонений между планом и его выполнением. В связи с этим, предлагается прогнозировать эти отклонения, что даст возможность корректировать вагонопотоки при получении информации еще в начале планового периода.

2. Рациональная разработка сменно-суточного плана поездной и грузовой работы возможна только при условии разработки и внедрения информационной системы поддержки принятия решений. Для этого необходимо пересмотреть приведенные формы плановой отчетности с целью упрощения и унификации с непосредственной реализацией в автоматизированном виде.

3. Разработанная методика сменно – суточного планирования, учитывающая влияние человека на принятие целесообразных решений по использованию определенных степеней принадлежности, позволяет усовершенствовать технологию сменно – суточного планирования на железнодорожных станциях.

Л и т е р а т у р а

1. Инструкция по оперативному планированию поездной и грузовой работы на железных дорогах Украины, утвержденная приказом Укрзалізнички от 15 декабря 2004 года № 969-ЦЗ, ЦД-0052.

2. Смехов А.А. Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте / А.А. Смехов, В.В. Повороженко, А.Т. Дерибас и [др.]. – М.: Транспорт, 1990. 351 с.

3. Дьяков Ю. В., Расулов М.Л. Технология перевозок и график движения // Железнодорожный транспорт, 1991. № 4. – С. 7 – 12.

4. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте. Под ред. П.С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. 543 с.

References

1. Instructions for operational planning of train and cargo work on the rail way of Ukraine, approved by order of Ukrzaliznytsia of December 15, 2004 No. 969-CZ, CD-0052.

2. Smekhov A.A., Povorozhenko V.V., Deribas A.T., et al.; Management of freight and commercial work in rail transport. – M.: Transport, 1990. 351 p.

3. Dyakov Yu.V., Rasulov M.L. Transport operation technology and traffic schedule // Railway Transport, 1991. No. 4. – P. 7 - 12.

4. Management of operational work and quality of traffic on the rail way transport. Ed. P.S. Gruntova. – M.: Transport, 1994. 543 p.

Semin Y.G., Lomachuk D.A.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF REPLACED - DAILY PLANNING ON THE RAILWAY

The article is devoted to the development of a model for operational planning of freight and train work on the railway, as well as the development of a technology for the functioning of automated workplaces (AWP) for railway station workers, which will make it possible at the beginning of the planned period to rationally redistribute the car fleet.

Key words: train flows, railway, shift-daily planning.

Семин Юрий Григорьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Semin Yuri Grigoryevich, candidate of technical sciences, docent of the «Transport Systems», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail:logistikatt@mail.ru

Ломачук Дмитрий Анатольевич, студент группы ТЛ – 771м, кафедра «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

E-mail: dima.lomachuk@yandex.ru

Lomachuk Dmitry Anatolyevich, student of TL group - 771m, of the «Transport systems», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

E-mail: dima.lomachuk@yandex.ru

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович д-р. техн. наук, проф., кафедра «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 05.03.2019

ТРЕБОВАНИЯ

к оформлению статей для публикации в научном журнале «ВЕСТНИК Луганского национального университета имени Владимира Даля»

ПУБЛИКАЦИЯ СТАТЕЙ

1. Документы и материалы собираются на кафедрах (факультетах/институтах), ответственных за сборник, затем передаются в издательство университета.
2. К публикации принимаются статьи, материалы которых соответствуют научному направлению сборника.
3. Статьи, не соответствующие научному направлению журнала или Требованиям к оформлению статей, редакцией не принимаются.
4. Для принятия решения о публикации статьи в журнале необходимо предоставить:
 - сопроводительное письмо (с указанием, что статья ранее нигде не публиковалась) от организации, где работают авторы, и сведения об авторах статьи, рецензию (подписанная отделом кадров университета).

Для сотрудников ЛНУ им. В. Даля вместо письма можно предоставить выписку из заседания совета факультета и рецензию;

– электронный вариант статьи:

Название файла статьи: <фамилия автора_город> например – Петров_Луганск.doc.

Название английского файла Petrov_Lugansk.doc.

Статья сохраняется в форматах *.doc, *.docx, *.rtf.

Внимание! Убедительная просьба, проверить получение редакцией материалов.

Внимание! Редакция оставляет за собой право возвращать статьи авторам на доработку в следующих случаях: правка ошибок после вычитки, статья небрежно оформлена и не соответствует требованиям редакции.

ДЛЯ ВЫЧИТКИ текст статьи распечатывают в соответствии с такими требованиями:

- формат А4 (поля по 20 мм с каждой стороны);
- шрифт Times New Roman,
- размер –14 пт,
- межстрочное расстояние – 1,5 строки.
- четкая печать на лазерном или струйном принтере.

Статьи подаются в одном экземпляре, напечатанные на лазерном (струйном) принтере, с подписями всех авторов, файл статьи на диске или e-mail: izdat.lguv.dal@gmail.com, а также предоставляются данные на английском языке (авторы статьи, заглавие статьи; наименование организации, ведомства, должность, электронный адрес автора); аннотация; ключевые слова; список литературы латиницей).

Луганский национальный университет имени Владимира Даля,
г. Луганск, кв. Молодежный, 20,а

СТРУКТУРА СТАТЬИ

УДК

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (на языке текста)
Фамилии, инициалы авторов (на языке текста статьи)

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (на английском языке)
Фамилии, инициалы авторов (на английском языке)

Аннотация на языке статьи

Ключевые слова:

Основной текст статьи, включающий следующие разделы:

Введение

Изложение основного материала

Результаты исследований

Выводы

Л и т е р а т у р а на языке текста статьи
References латиницей

Фамилии, имя, отчество (ПОЛНОСТЬЮ), название статьи (на английском языке)

Аннотация (на английском языке)

Ключевые слова (на английском языке)

Сведения об авторах (на русском и английском языке), e-mail: (каждого автора)

Рецензент

Статья подана

ОБРАЗЕЦ статьи на сайте университета

<http://dahluniver.ru/izdatelstvo/nauchnyj-zhurnal-vestnik-lnu-im-v-dalya.html>

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Основной текст статьи размещается на формате А4, ориентация – книжная со следующими полями: верхнее – 3 см, нижнее – 2,25 см, левое – 2 см, правое – 11 см. От края до верхнего колонтитула – 2 см, до нижнего колонтитула – 1 см, межстрочный интервал – 1,0. Запрет висячих строк. Автоматическая расстановка переносов (ширина зоны переноса слов – 0,25 см). Запрет переноса слов прописными буквами.

Текст статьи оформляется в редакторе **Microsoft Word /2003/2007/2010**.

Статья сохраняется в форматах *.doc, *.docx, *.rtf.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ

На первой странице в первой строке набирается УДК, без абзацного отступа. (выравнивание по левому краю). Шрифт Times New Roman, размер 10 пт, начертание – обычный.

пропуск строки

Название статьи на языке текста (русском или украинском) набирается прописными буквами (шрифт Times New Roman, размер – 11 пт, начертание – **полужирный**, выравнивание – по центру).

пропуск строки

Фамилии, инициалы авторов (количество авторов **не более 3-х** от одной организации) **на языке текста статьи** (русском или украинском) (шрифт Times New Roman, размер – 11 пт, начертание – **полужирный**, выравнивание – по центру).

пропуск строки

пропуск строки

Название статьи на английском языке набирается прописными буквами (шрифт Times New Roman, размер – 11 пт, начертание – **полужирный**, выравнивание – по центру).

пропуск строки

Фамилии, инициалы авторов на английском языке (шрифт Times New Roman, размер – 11 пт, начертание – **полужирный**, выравнивание – по центру).

пропуск строки

пропуск строки

пропуск строки

Аннотация на языке статьи объемом не менее 500 знаков (не менее 8 строк) (шрифт Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – *курсив*, выравнивание – по ширине, без абзацного отступа).

Ключевые слова на языке статьи (не более 7 слов) размещаются с новой строки (шрифт Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – *курсив*, выравнивание – по ширине, без абзацного отступа.).

пропуск строки

пропуск строки

Основной текст статьи набирается шрифтом Times New Roman; размер – 10 пт; начертание – обычный; межстрочный интервал – 1,0; выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 0,75 см.

Заголовок каждого раздела (**Вступление** и т.д.) выделяют по тексту полужирным, помещают с новой строки. Текст раздела идет сразу после заголовка в той же строке.

Статья должна включать такие разделы:

Введение (постановка проблемы, задачи в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами, анализ последних публикаций (не менее 3-х статей), в которых анализируется решение данной проблемы, формулировка цели статьи (отдельный абзац с новой строки – «Целью работы является...») и постановка задач);

Изложение основных материалов

Результаты исследований

Выводы

Литература

Формулы и символы набираются только (!!!) в редакторе формул Microsoft Equation 2.0/3.0 или MathType со следующими параметрами: стиль – математический; размеры шрифта:



Формулы не должны быть деформированы (формат объекта → размер → масштаб → 100%)
 Нумерация формул – в круглых скобках с выравнением по правому краю границы текста.

Внимание! Убедительная просьба не увлекаться "декоративной математикой".

Рисунки, диаграммы и графики размещаются непосредственно в тексте без обтекания (формат рисунка → положение → обтекание → в тексте) в последовательности, в которой приводятся ссылки на них в статье, сразу после первой ссылки на них. Рисунки выполняются в форматах .jpg, .wmf или .tif. Выполненные в Word рисунки должны быть сгруппированы и стоять без обтекания либо помещены в полотно.

Подрисовочный текст, номер, название рисунка выполняется шрифтом Times New Roman; размер – 9 пт; начертание – обычный; интервал – 1,0.

Рисунки не должны быть деформированы.

Внимание! Запрещается внедрять графические материалы в виде объектов, связанных с др. программами, например, с КОМПАС, MS Excel и т.п. **Рисунки, выполненные непосредственно в MS Word, не принимаются.**

Таблицы. Таблица озаглавляется словом «Таблица» (шрифт – обычный TNR 9 пт, выравнивание – по правому краю) со следующим за ним номером. В следующей строке помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), (шрифт – полужирный, TNR, 9 пт, выравнивание – по центру) без заключительной точки. Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами и размещаются после первого упоминания (ссылки на них).

пропуск строки

Заголовок «**Литература**» размещается после выводов и набирается строчными буквами (шрифт Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – **полужирный**, разреженный – 2,5 пт, выравнивание – по центру). Список литературных источников выполняется шрифтом Times New Roman; размер – 9 пт; начертание – обычный, в виде нумерованного списка с точкой без скобки.

пропуск строки

Заголовок «**References**» и список литературы, набранный латиницей, помещают через интервал после списка литературы с использованием сайта <http://translit.ru> (шрифт Times New Roman; размер – 9 пт; стиль – **полужирный**, разреженный – 2,5 пт, выравнивание – по центру). Используйте, по возможности, ссылки на переводные версии журналов и книг, а не просто транслитерируйте их.

Внимание! Список использованной литературы в статье, в соответствии с требованиями **РИНЦ**, должен также быть представлен в романском алфавите отдельным элементом статьи под заголовком **References** повторяя список литературы на языке оригинала.

пропуск строки

пропуск строки

Фамилии, инициалы авторов, название статьи на английском языке (Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – **полужирный**, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 0,75 см).

Аннотация на английском языке объемом не менее 850 знаков (не менее 12 строк) Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – *курсив*, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 0,75 см).

Аннотация должна быть:

- *информативной* (не содержать общих слов);
- *оригинальной* (не быть калькой русскоязычной аннотации);
- *содержательной* (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- *структурированной* (следовать логике описания результатов в статье);
- написана качественным английским языком (не компьютерный перевод);
- компактной (укладываться в объем 850 знаков).

Ключевые слова на английском языке (до 7 слов) размещаются с новой строки (шрифт Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – *курсив*, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 0,75 см).

пропуск строки

Сведения об авторах (на русском и английском языках): ПОЛНОСТЬЮ фамилия, имя отчество (начертание – полужирный), ученая степень, звание, должность, место работы, адрес электронной почты (шрифт Times New Roman; размер – 9 пт; начертание – обычный, без абзацного отступа).

E-mail:

пропуск строки

Рецензент: указывается фамилия, инициалы, ученая степень, ученое звание рецензента из редколлегии Вестника по данному направлению (шрифт Times New Roman; размер 9 пт; начертание – обычный, без абзацного отступа).

пропуск строки

Статья подана (шрифт Times New Roman; размер 9 пт; начертание – обычный, выравнивание – по правому краю). Дата поступления статьи ставится кафедрой, отвечающей за формирование данного сборника.

1. Статья, текст вместе с рисунками и др. нетекстовыми элементами, должна быть объемом 4...8 полных страниц (до списка литературы) формата А4 (210×297 мм).

ПРИМЕЧАНИЕ:

1. Место работы писать ПОЛНОСТЬЮ

ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля»
State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

2. E-mail ОБЯЗАТЕЛЬНО.

3. В сведениях об авторах статьи Ф.И.О. указывать ПОЛНОСТЬЮ.

4. Рецензент ТОЛЬКО профессор или член ред. коллегии сборника.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

**ВЕСТНИК
ЛУГАНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ
№ 6 (24) 2019**

Научный журнал

Технический редактор

Гриниченко Е.А.

Оригинал-макет

Коломиец Д.В.

Подписано к печати 13.05.2019
Формат 70x108 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times
Условных печатных стр. 30. Тираж 100 экз. Изд. № 0147.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Луганского национального университета
имени Владимира Даля

Свидетельство о регистрации серия МИ-СГР ИД 000003 от 20.11.2015 г.

Адрес издательства: 91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20,а.

Тел.: (072) 138-34-80

E-mail: izdat.lguv.dal@gmail.com

http://www.dahluniver.ru