

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

В Е С Т Н И К

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**«ЛУГАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»**

**№ 6(48)
2021**

Луганск 2021

ВЕСТНИК

ЛУГАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

№ 6 (48) 2021

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ОСНОВАН В 2015 ГОДУ
ВХОДИТ В БАЗУ
РИНЦ

ОСНОВАТЕЛЬ
ГОУ ВО ЛНР «ЛУГАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации,
печати и массовых коммуникаций
Серия № ПИ 000170 от 19 января 2021 г.

Свидетельство о государственной регистрации
Издателя, изготовителя и распространителя средства
массовой информации
МИ-СРГ ИД 000003 от 20 ноября 2015г.

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. психол. 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,
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,
Салита С.В., докт. экон. 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,
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: Тарарычкин И.А.

Рекомендовано в печать Ученым советом Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
(Протокол № 1 от 02.10.2020 г.)

Материалы номера печатаются на языке оригинала.

© ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля, 2021
© SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University», 2021

VESTNIK

LUGANSK
VLADIMIR DAHL
STATE UNIVERSITY

№ 6 (48) 2021

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

FOUNDER
SEE HT LPR
«LUGANSK VLADIMIR DAHL
STATE UNIVERSITY»

Journal is registered by the Ministry of Information,
Publishing and Mass Communications
Series № PI 000170 of January, 19 2021

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

MI-SRG ID 000003 of November, 20 2015

СОДЕРЖАНИЕ

СВЯЗУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ НА ЛИГНОСУЛЬФОНАТНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ БРИКЕТИРОВАНИЯ УГОЛЬНОЙ КРОШКИ Свиносов Ю.А., Рябичев В.Д., Гутько Ю.И. -----	9
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВИАЦИОННОГО И НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧС Андреев А.А., Сингеев А.В. -----	16
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ОТДАЛЁННЫХ И ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ Андреев А.А., Сингеев А.В., Петров А.Г. -----	22
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ ТОПЛИВО ДЛЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ Андреев А.А., Чижевская Д.Ю. -----	28
МОДЕЛЬ ОДНОМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ ГАЗООБМЕНА В ТЕПЛОСИЛОВЫХ УСТАНОВКАХ Брянцев М.А., Данилейченко А.А., Доценко Д.М. -----	36
РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ АНТИКРИЗИСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ Быкадоров В.В., Коструб О.М. -----	40
УТОЧНЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ТИПОВ ДРОБИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ Власенко Д.А., Левченко Э.П. -----	43
ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НАГРУЗОК НА ЛЕНТУ И РОЛИКООПОРУ КОНВЕЙЕРА Гутаревич В.О., Складов В.Н. -----	51
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ТЕПЛОВЫХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ КАСКАДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЭНЕРГИИ ПОТОКОВ ГАЗОВЫХ РАБОЧИХ СРЕД Данилейченко А.А., Быкадоров В.В., Ковтун А.С. -----	56
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПУТЕМ АНАЛИЗА ПОТОКА ОТКАЗОВ И ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЧИН ИХ ПОЯВЛЕНИЯ Замота Т.Н., Панайотов К.К., Крупица О.В. -----	63
НАСТРОЙКА ФУНКЦИИ ВРЧ ПО ШПОНОЧНОМУ ПАЗУ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН И АГРЕГАТОВ Киреев А.Н., Быкадоров В.В., Киреева М.А. -----	69
ПОРЯДОК ПОСТАНОВКИ НА ПРОИЗВОДСТВО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА, ЭКСПЛУАТИРУЮЩЕГОСЯ НА ИНФРАСТРУКТУРЕ ОАО «РЖД», МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ (ИЗГОТОВИТЕЛЕМ) ПО КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДРУГОГО РАЗРАБОТЧИКА Киреев А.Н., Дмитриенко А.Б., Атрошенко Д.В. -----	76
АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА ПРИ МАРШРУТИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ Косоногова Л.Г., Королёва А.А., Дубасов А.В. -----	81
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ Косоногова Л.Г., Нечаев Г.И., Коротаев А.С. -----	86
РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОЙ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ Коструб В.А., Мирошников А.А. -----	94

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЕЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ Крупница О.В., Замота Т.Н., Панайотов К.К. -----	101
ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЩЕЛЕВОГО ДИФфуЗОРА, УСТАНОВЛЕННОГО НА ВЫХОДЕ ВИХРЕВОГО КЛАПАНА С ОСЕВЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ Мальцев Я.И., Мальцева М.О., Суворова Е.Ю. -----	110
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ Мокшина О.В., Иванова Е.И., Клюев А.С., Тасанг Э.Х. -----	116
ОЦЕНКА КРИТЕРИЕВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ТЯГОВОГО РЕДУКТОРА ТЕПЛОВОЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОФИЛЬНОГО УГЛА ИСХОДНОГО КОНТУРА Муховатый А.А. -----	120
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ Нечаев Г.И., Афанасьевский Ю.Н., Ковтун Н.В. -----	126
ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ГОРОДА Нечаев Г.И., Бондарев Ю.А. -----	132
ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕВОЗОК В ГОРОДАХ Нечаев Г.И., Калужный В.В. -----	134
РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ШУМОВ, СОЗДАВАЕМЫХ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА Нечаев Г.И., Малахова В.В. -----	142
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТАМОЖЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ТЕРМИНАЛОВ КАК ЧАСТИ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНО-ТАМОЖЕННОГО КОМПЛЕКСА ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ Нечаев Г.И., Нечаев Д.П., Афанасьевский Ю.Н. -----	147
ИССЛЕДОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД Нечаев Г.И., Соколовский А.Я., Соколовская Е.А. -----	153
КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА НАКОПЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РТО АТСС С ПОМОЩЬЮ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ Никишкин Ю.А., Лошаков А.С., Клочков Е.А. -----	165
К ВОПРОСУ ВЫБОРА ПЕРЕВОЗОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОСТАВКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ Никишкин Ю.А., Третьякова В.С., Кудинов Ю.С. -----	169
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КЛАПАНОВ С ОДНОСТОРОННИМ ВЫХОДОМ С ОСЕВЫМ ДИФфуЗОРОМ И РАДИАЛЬНЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ Сёмин Д. А., Левашов Я. Н., Гетманский Ю. А. -----	175
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КЛАПАНОВ С ОДНОСТОРОННИМ ВЫХОДОМ С РАДИАЛЬНЫМ ДИФфуЗОРОМ И РАДИАЛЬНЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Мирошниченко И.В. -----	180
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КЛАПАНОВ С ОДНОСТОРОННИМ ВЫХОДОМ С РАДИАЛЬНЫМ ДИФфуЗОРОМ И ОСЕВЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Педан П.Г. -----	185

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КЛАПАНОВ С ДВУСТОРОННИМ ВЫХОДОМ С РАДИАЛЬНЫМИ ДИФFUЗОРАМИ И ОСЕВЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Заболотников А.С. -----	190
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КЛАПАНОВ С ДВУСТОРОННИМ ВЫХОДОМ С ОСЕВЫМИ ДИФFUЗОРАМИ И ОСЕВЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Фролов Т.И. -----	195
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В ВИХРЕВЫХ КЛАПАНАХ Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Левашов А.Н., Яценко А.А. -----	199
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КЛАПАНОВ С ДВУСТОРОННИМ ВЫХОДОМ С РАДИАЛЬНЫМИ ДИФFUЗОРАМИ И РАДИАЛЬНЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Яценко А.А. -----	204
КОРПОРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ Скирневская Л.Н. -----	209
СПОСОБ ОЦЕНКИ МОЩНОСТНЫХ КАЧЕСТВ ДВС АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА Сметана С.А., Сидорченко А.В. -----	217
СПОСОБ ОЦЕНКИ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВС Сметана С.А., Сидорченко А.В., Замота Т.Н. -----	220
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАНКОВ Стефанишина Е.В., Рахманая И.А. -----	226
СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ МНОГОУРОВНЕВЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ Тарарычкин И.А. -----	231
МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ МАТРИЦ ЖЕСТКОСТИ В СТЕРЖНЕВЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ Тасанг Э.Х., Иванова Е.И., Ключев А.С., Мокшина О.В., Сметанин С.А. -----	238
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН Шовкопляс А.В. -----	242
РАЗРАБОТКА АНТИКРИЗИСНОЙ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ Денисенко И.А., Пономарёв А.А. -----	242

CONTENTS

LIGNOSULFONATE-BASED BINDER FOR COAL CRUMB BRIQUETTING TECHNOLOGY Svinoroev Yr.A., Ryabichev V.D., Gutko Yr.I. -----	9
INTERACTION OF AIR AND GROUND TRANSPORT IN EMERGENCY RESPONSE Andreev A.A., Singeev A.V. -----	16
IMPROVEMENT OF TRANSPORT TECHNOLOGY FOR EMERGENCY RESPONSE IN REMOTE AND HARD-TO-REACH AREAS Andreev A.A., Singeev A.V., Petrov A.G. -----	22
RESOURCE-SAVING FUEL FOR TRACTOR GENERATORS Andreev A.A., Chizhevskaya D.U. -----	28
MODEL OF ONE-DIMENSIONAL GAS EXCHANGE PROCESSES IN THERMAL POWER PLANTS Bryantsev M.A., Danileychenko A.A., Dotsenko D.M. -----	36
DEVELOPMENT OF ANTI-CRISIS MANAGEMENT MEASURES FOR TRANSPORT ENTERPRISES Bykadorov V.V., Kostrub O.M. -----	40
REFINED CLASSIFICATION OF INDIVIDUAL TYPES OF CRUSHING EQUIPMENT FOR FERROUS METALLURGY ENTERPRISES Vlasenko D.A., Levchenko E.P. -----	43
DYNAMIC IMPACT OF LOADS ON THE TRACTION ELEMENT AND ROLLER BEARINGS OF BELT CONVEYOR Gutarevich V.O., Sklyarov V.N. -----	51
ESTIMATION OF HEAT PLANTS OPERATION PROCESS EFFECTIVE ON THE BASIS OF WORKING ENVIRONMENTS GAS FLOW ENERGY CASCADE TRANSFORMATORS Danileychenko A.A., Bykadorov V.V., Kovtun A.S. -----	56
IMPROVING THE VEHICLE MAINTENANCE SYSTEM BY ANALYSIS OF THE FAILURE FLOW AND IDENTIFICATION OF THEIR CAUSES Zamota T.N., Panayotov K.K., Krupica O.V. -----	63
ADJUSTMENT OF THE FUNCTION OF THE TSA BY THE NIGHT SLOT WITH THE ULTRASONIC CONTROL OF PARTS AND UNITS OF MACHINES AND UNITS Kireev A.N., Bykadorov V.V., Kireeva M.A. -----	69
THE PROCEDURE FOR PUTTING INTO PRODUCTION ROLLING STOCK AND COMPONENTS PARTS OF RAILWAY ROLLING STOCK OPERATING ON INFRASTRUCTURE OF OJSC "RUSSIAN RAILWAYS", A MACHINE-BUILDING ENTERPRISE (MANUFACTURER) ACCORDING TO THE DESIGN DOCUMENTATION OF ANOTHER DEVELOPER Kireev A.N., Dmitrienko A.B., Atroshenko D.V. -----	76
ANALYSIS OF THE OPTIMUM DISTRIBUTION OF TRANSPORT FLOW WHEN ROUTING THE NUMBER OF VEHICLES Kosonogova L.G., Koroleva A.A., Dubasov A.V. -----	81
MODERN TECHNOLOGIES ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE TRANSPORT INDUSTRY Kosonogova L.G., Nechayev G.I., Korotash A.S. -----	86
DEVELOPMENT OF MULTICHANNEL STRAIN GAUGE SYSTEM Kostrub V.A., Miroshnikov A.A. -----	94
IMPROVING THE EFFICIENCY OF CARS BY IMPROVING THE DIAGNOSTIC TECHNIQUE OF THE IGNITION SYSTEM Krupica O.V., Zamota T.N., Panajotov K.K. -----	101

INCREASING BANDWIDTH SLOT DIFFUSER IN THE OUTLET VORTEX VALVE WITH AN AXIAL SUPPLY CHANNEL Maltsev Y.I., Maltseva M.O., Suvorova E.Y.	110
PROSPECTS OF 3D-SCAN TO DETERMINE THE QUALITY OF SEWING GOODS Mokshina O.V., Ivanova E.I., Klyuev A.S., Tasang E.H.	116
ESTIMATION OF PERFORMANCE CRITERIA OF GEARS OF A TRACTION GEARBOX OF A LOCOMOTIVE CIRCUIT DEPENDING ON THE PROFILE ANGLE OF THE INITIAL CIRCUIT Mukhovatiy A.A.	120
METHODOLOGY FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT CORRIDORS Nechaev G.I., Afanasevsky Y.N., Kovtun N.V.	126
ORGANIZATION OF MOTOR TRANSPORT OPERATION IN URBAN CONDITIONS Nechayev G.I., Bondarev Yu.A.	132
PROBLEMS OF PASSENGER ORGANIZATION TRANSPORTATION IN THE CITIES Nechayev G.I., Kaluizhnyy V.V.	134
DEVELOPMENT OF TOOLS TO SUPPORT EXPERIMENTAL STUDIES OF THE SPECTRAL COMPOSITION OF NOISE GENERATED BY RAILWAY ROLLING STOCK Nechaev G.I., Malakhova V.V.	142
STUDY OF THE OPTIMAL LOCATIONS OF CUSTOMS AND LOGISTICS TERMINALS AS PART OF THE LOGISTICS TRANSPORT AND CUSTOMS COMPLEX OF THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC Nechaev G.I., Nechaev D.P., Afanasyevsky Yu.N.	147
RESEARCH OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF HIGH MINERALIZED WATER CONDITIONING Nechayev G.I., Sokolovsky A.Y., Sokolovskiy E.A.	153
QUALITATIVE ANALYSIS OF THE POSITIONING ERROR ACCUMULATION MECHANISM OF PTO ATCC USING PHASE DIAGRAMS Nikishkin Y.A., Loshakov A.S., Klochkov E.A.	165
ON THE CHOICE OF TRANSPORTATION TECHNOLOGIES FOR THE DELIVERY OF PASSENGER CARS Nikishkin Y.A., Tretyakova V.S., Kudinov Y.S.	169
RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH ONE-WAY OUTLET WITH AXIAL DIFFUSER AND RADIAL POWER SUPPLY CHANNEL Syomin D.A., Levashov Y. N., Hetmanski Y. A.	175
RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH ONE-WAY OUTLET WITH A RADIAL DIFFUSER AND A RADIAL POWER SUPPLY CHANNEL Syomin D.A., Levashov Y.N., Miroshnichenko I.V.	180
RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH ONE-WAY OUTLET WITH A RADIAL DIFFUSER AND AXIAL POWER SUPPLY CHANNEL Syomin D.A., Levashov Y.N., Pedan P.G.	185
RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH TWO-WAY OUTLET WITH RADIAL DIFFUSERS AND AXIAL POWER SUPPLY CHANNEL Syomin D.A., Levashov Y.N., Zabolotnikov A.S.	190
RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH TWO-WAY OUTLET WITH AXIAL DIFFUSERS AND AXIAL POWER SUPPLY CHANNEL Syomin D.A., Levashov Y.N., Frolov T.I.	195

MATHEMATICAL AND PHYSICAL MODELING OF FLOWS IN VORTEX VALVES Syomin D.A., Levashov Y.N., Levashov A.N., Yatsenko A.A. -----	199
RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH TWO-WAY OUTLET WITH RADIAL DIFFUSERS AND RADIAL POWER SUPPLY CHANNEL Syomin D.A., Levashov Y.N., Yatsenko A.A. -----	204
CORPORATE MANAGEMENT THE ENTERPRISES OF A TRANSPORT COMPLEX OF DONETSK FOLK REPUBLIC Skirnevskaya I.N. -----	209
METHOD FOR ASSESSING THE POWER QUALITIES OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE OF A MOTOR VEHICLE Smetana S.A., Sidorchenko A.V. -----	217
METHOD FOR ASSESSING THE FUEL EFFICIENCY OF AN AUTOMOBILE INTERNAL COMBUSTION ENGINE Smetana S.A., Sidorchenko A.V., Zamota T.N.-----	220
DETERMINING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF INNOVATIVE ACTIVITIES OF BANKS Stefanishina E.V., Rakhmanaya I.A. -----	226
STRUCTURAL SYNTHESIS OF THE MULTILEVEL TERRITORIAL TRANSPORT SYSTEMS Tararychkin I.A. -----	231
METHOD FOR CALCULATING RIGIDITY MATRICES IN ROD FINAL ELEMENTS Tasang E.H., Ivanova E.I., Klyuev A.S., Mokshina O.V., Smetanin S.A.-----	238
THE MAIN DIRECTIONS OF INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF THE WORKING BODIES OF ROAD CONSTRUCTION AND LIFTING AND TRANSPORT MACHINES Shovkoplias A.V.-----	242
DEVELOPMENT OF THE COMPANY'S ANTI-CRISIS STRATEGY Denisenko I.A., Ponomarev A.A. -----	242

УДК 621.002.68

СВЯЗУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ НА ЛИГНОСУЛЬФОНАТНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ БРИКЕТИРОВАНИЯ УГОЛЬНОЙ КРОШКИ

Свинооров Ю.А., Рябичев В.Д., Гутько Ю.И.

LIGNOSULFONATE-BASED BINDER FOR COAL CRUMB BRIQUETTING TECHNOLOGY

Svinoroev Yr.A., Ryabichev V.D., Gutko Yr.I.

Использование вторичного сырья и прогрессивных технологий – путь к повышению конкурентоспособности производства и продукции. Переработка и утилизация техногенных отходов угольного производства важны не только с точки зрения их использования как альтернативного источника сырья, но и с точки зрения охраны окружающей среды. Применение новых лигносульфонатных связующих – не дорогих по стоимости, не дефицитных и экологически чистых, для технологии брикетирования позволит решить одну из основных проблем ограничивающих её широкое применение.

Ключевые слова: связующие материалы, технические лигносульфонаты (ЛСТ), брикеты, прочность, связующая способность, угольные отходы, окускование, штыб, утилизация, технологии брикетирования.

Введение. Угледобывающее производство технологически сопровождается образованием значительного количества различных техногенных отходов, достигающих до 37% от добычи угля [1]. С переходом на взимание экологических налогов пропорционально объемам фактических выбросов производства, в том числе вывоза отходов на технологические свалки, наиболее дальновидные руководители предприятий начали понимать, что значительно дешевле исключить или сократить количество отходов на местах их образования, чем выплачивать экологические налоги, такой ресурсосберегающий подход наиболее актуален в настоящее время [2, 3, 4, 15, 22].

Цель исследований. Брикеты из мелкофракционных и тонкодисперсных компонентов угольных отходов - рациональный способ вторичного использования сырья. Одной из основных сложностей технологии изготовления брикетов есть необходимость применения не дорогого по стоимости не дефицитного и экологически безопасного связующего материала, в этой связи предложено использование модифицированных технических лигносульфонатов обладающих повышенными прочностными свойствами.

Изложение основного материала. Утилизация штыбов и шламов производится преимущественно на накопителях. Для вторичного использования применимы только предварительно специально подготовленные данные отходы. Основная технологическая сложность в переработке штыбов и шламов – обезвоживание их до влажности 10-12%. В связи с этим актуальным становится развитие компактных производств малой и средней мощности по переработке штыбов и шламов во вторичное сырье в виде брикетов, отвечающих требованиям современных энергетических процессов. Окускование является одной из актуальных задач в подготовке угольных отходов к использованию в качестве энергетического топлива. Для получения товарного продукта, пригодного для реализации на рынке вторичного сырья, брикет должен отвечать ряду требований:

- не должен содержать вредных примесей элементов сверх допустимого уровня;
- обладать прочностью, достаточной для его последующей транспортировки;
- сохранять прочность при увлажнении при транспортировке;
- обладать прочностью при высоких температурах;
- обладать однородностью химического состава;
- обладать однородностью линейных размеров кусков;
- иметь себестоимость, сопоставимую с традиционной.

Окускование мелкодисперсных штыбов и шламов позволяет не только обеспечить предприятия дополнительными энергетическими ресурсами железосодержащих материалов и уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду, но стабилизировать работу основных переделов – накопления, подготовки сырья, вторичного использования. Брикетирование - процесс получения кусков (брикетов) с добавкой и без добавки связующих веществ с последующим прессованием смеси в брикеты нужного размера и

формы. Целью структурообразования мелких материалов является не только получение определенного размера кусков, но и создание в искусственных структурах комплекса заданных физико-химических свойств. В связи с этим существует закономерная причинно-следственная связь технологических параметров процессов структурообразования с качественными характеристиками подготовленных материалов [13]. Мелкофракционные материалы фракции 0-10 мм обладают низкой газопроницаемостью, что затрудняет их использование в дальнейшем применении без предварительной подготовки. Брикетирование мелкозернистых и тонкодисперсных материалов со связующими веществами – наиболее универсальный способ

вовлечения в переработку ценных топливных, минеральных сырьевых компонентов, а также ряда техногенных отходов, которые по своему агрегатному физическому состоянию непригодны для непосредственного использования в технологических процессах и аппаратах. Отличительной особенностью процесса брикетирования является возможность изготовления брикетов из шихтовых смесей, эффективных для основных типов агрегатов энергетического комплекса. Брикетируемые материалы и область применения брикетов представлены в таблице 1. Следует обратить внимание, что брикетированию подлежат не только техногенные отходы, но и первородное мелкофракционное и тонкодисперсное сырье.

Таблица 1

Характеристики технологии и областей применения брикетирования

Источники сырья	Брикетируемые материалы	Области применения брикетов
Техногенные отходы угольного производства: - «старые» породные отвалы (с 30-40% содержанием угольной крошки); - «хвостохранилища» центральных обогатительных фабрик; - штыб.	-уголь, угольная крошка для коммунально-бытовых нужд по ТУУ 10.1-33333494-005; -уголь марки К и Ж для пылевидного сжигания по ТУУ 10.1-23472138-158; -уголь для пылевидного сжигания по ТУУ 10.1-32186934-003; - мелкодисперсная угольная коксовая пылевидная крошка.	Бытовые нужды населения. Котельные промышленных предприятий. Котельные коммунальных предприятий. Котлы железнодорожных вагонов Тепловые электростанции.

Рассмотрим технологический процесс изготовления угольных брикетов. Наиболее экономически выгодной и экологически безопасной является «холодное» брикетирование. Проанализировав эксплуатационные качества брикетов с различными связующими и технологичность их применения в производстве, мы считаем наиболее экономически выгодным применение лигносульфонатных связующих. Поскольку этот момент в технологии изготовления брикетов является наиболее уязвимым, то целесообразно проанализировать его более детально.

Одной из главных причин, ограничивающих области применения технических лигносульфонатов (ЛСТ) в качестве связующих материалов, является не стабильность их свойств и малая связующая способность, при том, что этот вид связующих материалов, среди всей номенклатуры используемых материалов данного типа наиболее дешёвый, не дефицитный и экологически чистый материал.

В работах [5, 6, 7] предложены способы повышения этого показателя, при этом, уровень достигаемых результатов позволяет говорить о создании принципиально новых связующих материалов на основе ЛСТ.

При разработке связующих для технологии получения угольных брикетов наибольшая эффективность наблюдалась при использовании комплексных модификаторов, включающих в свой состав компоненты, действие которых имеет строго определённую

функциональную направленность. Одна часть комплекса в процессе обработки инициирует, и ускоряет в шихтовой смеси процесс начала структурообразования, другая вступает в химическое взаимодействие с олигомерными молекулами ЛСТ и частичек угольной крошки так, что это приводит к образованию трёхмерного сетчатого полимера.

В конечном итоге, это обуславливает повышение связующей способности, уменьшение продолжительности отверждения и стабилизирует свойства связующего, что позволяет его эффективно использовать в данной технологии.

Установили что целесообразно применять связующие комплексы включающие сочетания неионогенных поверхностно активных веществ (НПАВ) с некоторыми минеральными кислотами. В этих случаях наблюдалось возрастание связующей способности с 0.37 – 0.51 МПа до 2.84 – 3.00 МПа и выше, при этом отверждение разработанного состава связующего, при комбинированном использовании термической активации (380-400⁰С), сокращалось с 12 – 15 мин, до 1 – 3 мин. Обычный режим отверждения протекал при температуре 200-220⁰С.

На этой основе разработан и предложен к использованию новый связующий материал на основе ЛСТ, его состав варьируется в зависимости от конфигурации и массы угольных брикетов.

Данная разработка может быть использована в настоящее время на предприятиях Луганской и донецкой

областей имеющих огромные массивы техногенных отходов угольных шахт и обогатительных фабрик. Издержки связанные с процессом модифицирования исходных лигносульфонатных связующих не значительны.

К преимуществам относятся:

- возможность быстрого достижения требуемой эксплуатационной прочности;
- технологичность составов шихтовых композиций - незначительные энергозатраты для ускорения набора прочности брикетами (обеспечение температуры до 220 С).

Исследованы и установлены характеристики брикетов со связующим на основе модифицированных ЛСТ (ЛСТ м) изготовленных из коксовой крошки (см.

табл. 2). В сравнении с аналогами [18,19,20] они почти в два раза меньше содержат связующего материала.

В зависимости от требований заказчика может быть изготовлен брикет любой конфигурации. В зависимости от области применения угольного брикета возможно получение любого, отвечающего требованиям каждого конкретного энергетического передела и его шихты, состава брикета, с добавлением различных добавок, с заданными механическими свойствами.

При разработке технологии производства брикета приоритетными являлись следующие задачи [13,21,22]:

- получение брикета с заданными свойствами по требованиям конкретного заказчика (предложенная нами технология позволяет получить брикет с заданными геометрическими размерами, конфигурацией и физическими свойствами);

Таблица 2

Показатели качества брикетов

Состав смеси углеродистых материалов, %	Расход связующего (ЛСТ м), %	Давление прессования, МПа	Размеры брикета		Прочность высушенных брикетов		Термостойкость, %
			диаметр, мм	масса, г	на сбрашивание, %	на сжатие, МПа	
Пыль угольная, отсев	4	30	50	80	94,5	8,53	97,1
Пыль угольная, отсев	3,8	100	50	80	97,9	12,02	98,9
Дробленая коксовая мелочь - 100	5,5	40	80	275	97,4	8,59	97,1
Дробленая коксовая мелочь - 85; Антрацит -15	5,5	40	80	275	96,8	8,6	94,9
Дробленая коксовая мелочь - 70; Антрацит -30	5,5	40	80	275	91,7	4,99	93,8
Дробленые отсеивы полукокса - 100	4,5	30	50	50	95,8	7,18	85,9

- компонентный состав брикета, который и определяет его энергетическую

ценность, разрабатывался с участием специалистов угледобывающих предприятий и потребителя брикета;

- обеспечение эффективности производства и применения брикета, которые достигаются за счет размещения брикетной установки в непосредственной близости от источников образования отходов, расположенных, как правило, на одной площадке;

- обеспечение высокой производительности, низкой стоимости оборудования, минимальное количество обслуживающего персонала.

Технология изготовления угольных брикетов включает в себя следующие переделы:

- доставку сырьевых компонентов на промышленную площадку;
- хранение сырьевых компонентов;
- дозирование сырьевых компонентов для приготовления шихтовой смеси;
- приготовление сырьевой смеси в смесителях принудительного действия;
- транспортирование шихтовой смеси к посту формирования;

- формование брикетов на вальцевых прессах;

- транспортирование отформованной продукции к печи сушки;

- сушка и получение прочности;

- пакетирование готовой продукции (при необходимости);

- транспортирование на склад готовой продукции (или погрузка в транспортное средство).

Известны технические решения компоновки подбора такого дозирующего и смесительного оборудования, которое обеспечивает точность дозирования связанных материалов в пределах 1% и позволяет производить их смешивание, регулируя интенсивность перемешивания, тем самым обеспечивая максимально возможную степень гомогенизации шихтовой смеси [8,9,10]. Высокая степень гомогенизации способствует снижению расхода вяжущего не менее чем на 1,5% по сравнению с аналогичным расходом при использовании традиционных типов смесительного оборудования [11, 14]. Снижение расхода воды при приготовлении шихтовой смеси обеспечивается путем введения специальных химических добавок (виды применяемых добавок зависят от конкретного компонентного состава брикетов), что позволило снизить продолжительность теплового воздействия

на брикет [12]. Кроме того, разработана компактная технологическая схема сушки брикетов в проходной печи с целью наиболее эффективного использования теплотворной способности теплоносителя. Известны разработки технологических схем выгрузки готовых брикетов, позволяющие сократить до минимума (или отказаться вовсе) от накопления брикетов на промежуточных промышленных площадках и вместо этого производить немедленную погрузку готовой продукции в железнодорожный вагон или автотранспорт непосредственно с конвейера.

Проведенные мероприятия дают основание для утверждения, что в настоящее время существует мелко-серийно выпускаемое промышленное оборудование и технологические схемы его компоновки, позволяющие перерабатывать от 50 тыс. тонн ÷ 500 тыс. тонн и более отходов в год [14,15, 16, 17]

К компонентам угольной шихты предъявляются различные требования, такие как: размягчаемость, пористость, осыпаемость, механическая прочность, истираемость, восстановимость и т.д.

Получаемые брикеты по своему сырьевому (химическому) составу, размерам (крупности) и прочности должны отвечать требованиям и особенностям технологического процесса, в котором предполагается их использование. Так как химический состав и размер брикетов задаются до брикетирования, одной из важных характеристик качества брикетов (и в целом технологического процесса брикетирования) считаются показатели их механической прочности. Знание этих показателей позволяет оценить способность брикетов выдерживать без разрушения определенные ударно-истирающие, ударные и раздавливающие нагрузки, которым они будут подвергаться в процессе эксплуатации. Именно показатели механической прочности брикетов во многом определяют их потребительскую ценность и, в целом, возможность использования на различных предприятиях со своей характерной инфраструктурой.

На основании проведенных исследований было выявлено, что брикеты в процессе эксплуатации, в первую очередь, испытывают ударные нагрузки на перепадах, при загрузке бункеров или каких-либо других аппаратов или при отгрузке потребителю и разгрузке у него. Раздавливающим нагрузкам брикеты подвергаются в случае накопления в бункерах или штабелях на складах и при перевозках в вагонах.

При высоте столба ~ 40 м (близкая к предельной высоте бункеров) нагрузка на нижний образец составит ~ 3,1 кг/см². Аналогичная картина наблюдается при нахождении кусковых материалов в металлургических печах шахтного типа. Например, установлено, что даже в высокошахтной доменной печи давление вышележащих слоев загрузки на кокс не превышает 3-5 кг/см². Таким образом, разрушение брикетов обусловлено, в

основном, воздействием ударных нагрузок. Для определения прочности на устойчивость к удару при падении используются разные методики, по которым партии брикетов сбрасывают на металлическую плиту с высоты 1,5-2 м и по выходу образовавшейся мелочи (класс крупности менее 5, 10 или 25 мм в зависимости от размера брикетов). Крупные брикеты (максимальный размер ~100 мм) сбрасывают всего 1-2 раза, а брикеты небольшого размера (~25-30 мм) – не менее 4-5 раз. Однако во всех вариантах считается, что брикеты удовлетворяют кондиции на сопротивление сбрасыванию, если количество мелочи не превышает 5-10 (или даже 15)%. Это означает, что крупные брикеты не должны подвергаться многократным перегрузкам, и этому должна полностью соответствовать технологическая схема процесса.

Потребителям следует более обоснованно подходить к формированию требований к механической прочности брикетов и устанавливать отдельные браковочные показатели для брикетов.

В настоящее время не существует государственной нормативно-технической базы, регламентирующей требования к брикетам, как элементу энергетической шихты, поэтому предприятия, производящие и потребляющие брикеты вынуждены разрабатывать технические условия на конкретные типы брикетов.

К несомненным преимуществам брикета можно отнести следующее:

- брикеты имеют правильную одинаковую заданную форму и фиксированный вес, обладают более высокой прочностью и лучшей транспортабельностью;
- обладают более высоким удельным весом;
- экологическая безопасность брикетов (безотходность, отсутствие высоких температур при изготовлении);
- возможность применения в брикете в любом соотношении различных компонентов (штыб, шлам, опилки, шелуха и т.п.);
- возможность использования в брикете всех видов тонкодисперсных материалов.

Основные результаты исследований. На основании выше изложенного с достаточной степенью достоверности можно сделать выводы о технологической возможности осуществления рассмотренного способа утилизации техногенных отходов, и его перспективности для развития ЛНР, а накопленный в этом контексте опыт можно с успехом использовать на предприятиях России.

В технологическом контексте целесообразно выделить следующее :

- отмечается достаточно высокая механическая прочность угольного брикета, а именно осыпаемость 1,1%, при требовании не более 10 %. После 20 кратного сбрасывания на чугунную плиту основной кусок (50% от первоначального веса) сохранил прочность на сжатие на уровне 25 кг/см²;

- прочность на сжатие составила 8,7-9,3 МПа;
- прочность на удар и истираемость удовлетворяет предъявленным требованиям;
- теплота сгорания, Q, ккал/кг – не менее среднее 4000...5346, что удовлетворяет общепринятым нормам.

Целесообразно дальнейшее внедрение технологии брикетирования на промышленных предприятиях угольных регионов ЛНР для решения проблемы утилизации накопленных и текущих отходов с целью:

- значительно сократить и ликвидировать загрязнение окружающей среды отходами промышленных производств, в течение 10 -15 лет существенно уменьшить шламовые поля и всевозможные «могильники», тем самым, освободив огромные площади пригодных для использования земель и существенно улучшив экологию промышленных регионов;
- осуществить экономию природных и энергетических ресурсов страны за счет максимального вовлечения промышленных отходов в хозяйственный оборот.
- применять новые экологически чистые и эффективные связующие материалы на основе продуктов переработки растительного сырья – лигносульфонатные материалы

С точки зрения практического применения можно отметить: - угольные брикеты являются новым шихтовым материалом, частично заменяющим уголь; - брикеты имеют правильную форму и вес, обладают высокой прочностью и хорошей транспортабельностью;

- брикеты имеют необходимую теплоту сгорания.

Анализ данных позволил сформулировать задачу с решением по двум направлениям. С одной стороны:

переработка и утилизация отходов, использование их в виде относительно дешевого сырья для энергетического топлива, повышение качества и конкурентоспособности, а главное, снижение себестоимости готовой продукции, как для промышленных предприятий, так и для коммунально-бытовых нужд населения. С другой стороны:

решение экологической проблемы очистки целых регионов, где скопились огромные техногенные месторождения отходов, а так же утилизации текущих накоплений отходов от вышеперечисленных производств. Таким образом, экологическая проблема угольных регионов, трансформируется в задачу практического освоения техногенных отходов для их вовлечения в ресурсный и энергетический потенциал страны.

Такой подход помимо решения экономических и экологических проблем, позволяет разрешать социальные задачи, связанные с занятостью населения и созданием дополнительных рабочих мест. Существующие технологии вторичного

использования отходов различных угольных производств – несовершенны и требуют дальнейших исследований и разработки.

Выводы. В результате работы создан угольный брикет с использованием нетрадиционного связующего на основе лигносульфонатного материала для энергетического топлива, т.е. принципиально новая композиционная шихта, применение которой способно вернуть отходы промышленности в виде угольных брикетов, как сырья с достаточно высокой рентабельностью.

Производство таких брикетов позволит существенно улучшить технико-экономические показатели себестоимости продукции предприятий, улучшив при этом экологическую обстановку регионов.

Литература

1. Каменик Л.Л. Комплексное регулирование материальных ресурсов. - К., 2006.-238с.
2. Айрапетова А.Г. Формирование системы ресурсосбережения: теоретико-методологические аспекты. - СПб: Изд-во СПбГУЭФ, 1999.-356с.
3. Войтоловский В.Н., Карлик А.Е. Материалоемкость продукции: резервы и пути снижения. - Л.: Судостроение, 2001.-276с.
4. Ануфриев В.П. Теория и практика энерго-ресурсосбережения: Учебное пособие / В.П. Ануфриев, Ю.В. Лебедев, Ф.М. Черномуров. – Екатеринбург: Наука-сервис, 2006. – 405 с.
5. Свинороев Ю.А. Теоретические предпосылки разработки новых экологически чистых связующих на основе технических лигносульфонатов для фасонного литья в производстве деталей машин пищевой промышленности // Вестник Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля. 2005. № 11 (93). – с. 186-189.
6. Свинороев Ю.А. Применение прогрессивных методов обработки литейных связующих как инструментария для снижения ресурсоёмкости технологических процессов и решения производственно-экономических проблем региональных предприятий// Вестник Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля. 2009. № 2 (132). – С. 362-371.
7. Yu. Svinoroev, V. Kostrub, O. Klimova New ecological binder materials based on vegetative raw aterials processintg products/Teka commission of motorization and power industry in agriculture Lublin university of technology Volodymyr Dal East-Ukrainian national university of Lugansk, Volume XB, Lubin 2010 – p. 227 - 231
8. Равич Б.М - Брикетирование в черной и цветной металлургии. - М.: Металлургия, 1975. - 232 с.
9. M. P. Landow, Mark I. Crawford and M.Martinez. Benefits of Recycling Blast Furnace Waste Materials at National Steel - Great Lakes Division by Cold Bonded Briquetting: 59th Ironmaking conference proceedings. Pittsburgh. Pennsylvania. March 26-29.2000. PP. 225-231.
10. Cupola furnace forthe recycling of steel mill waste materials to liquid hot metal/ KUTTNER: Presentation on occasion of the Russo-Ukrainian blast furnace conference. Kosice. June 18-24.2001.
11. Ухмылова Г.С. Современное состояние и развитие процессов коксования уплотненных шихт за рубежом. М.: Черметинформация, 1981, №15 (108), 44с.

12. А.с. 1645763 СССР, МКИ5 F23G5/20. Установка для термического обезвреживания различных по теплоте сгорания и влажности отходов / Гусельников К.И., Кулагина Н.В., Данилов О.И. и др.; Сиб. фил. НПО Техэнергохимпром. - N 4683599/33; Заявл. 24.04.89; Опубл. 30.04.91, Бюл. N 16.

13. Сорматов М. И. Элементы теории и расчёта прессов для брикетирования угля. М.: Углетехиздат, 1954.-458с

14. Башилов Н.М., Богомазова Л.М., Константинов Г.А. Роторная машина для брикетирования твердых отходов // Экол. и пром-сть России. - 1999. - Июнь. - С.11-12.

15. Свинороев Ю.А. Ресурсосбережение как фактор устойчивого экономического развития региона//Материалы научно-практической конференции «Деловое и государственное администрирование» 27-29 апреля 2011г.- Славянск, 2011-С.321-327.

16. Гарин В.М., Хвостиков А.Г. Тенденции в решении проблемы утилизации отходов // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды: межвуз. сб. науч. тр. Вып.3 / Рост.-на-Дону гос. акад. с.-х. машиностроения. - Ростов-на-Дону, 1999. - С.83-84. - Библиогр.: 5 назв.

17. Демина Л.А., Морозова Т.Ф. Еще раз об отходах // Энергия: экон., техн., экол. - 2002. - N 10. - С.58-64.

18. <http://briket.zp.ua/pubs/>

19. <http://briket.tehnodoc.ru/briketir.php>

20. <http://www.unitek-ltd.ru/>

21. Лурье Л. А. Брикетирование в металлургии. М.: Углетехиздат, 1963.-238с.

22. Безотходная утилизация бытовых и промышленных отходов / Шантарин В.Д., Артемьева Т.В., Двойникова А.В. и др. // Нефть и газ Западной Сибири: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Тюмень, 21-23 мая, 1996. Т.1. - Тюмень, 1996. - С.49-50.

References

1. Kamenik L. L. Complex regulation of material resources. - K., 2006. - 238s.

2. Airapetova A. G. Formation of the resource-saving system: theoretical and methodological aspects.

3. Voitlovsky V. N., Karlik A. E. Material consumption of products: reserves and ways of reduction. - L.: Sudostroenie, 2001. - 276s.

4. Anufriev V. P. Theory and practice of energy and resource saving: A textbook / V. P. Anufriev, Yu. V. Lebedev, F. M. Chernomurov. - Yekaterinburg: Nauka-service, 2006. - 405 p.

5. Svinoroev Yu. A. Theoretical prerequisites for the development of new environmentally friendly binders based on technical lignosulfonates for shaped casting in the production of machine parts in the food industry // Bulletin of the East Ukrainian National University named after Vladimir Dal. 2005. No. 11 (93). - pp. 186-189.

6. Svinoroev Yu. A. Application of progressive methods of processing foundry binders as tools for reducing the resource intensity of technological processes and solving production and economic problems of regional enterprises// Bulletin of the East Ukrainian National University named after Vladimir Dal. 2009. No. 2 (132) -- pp. 362-371.

7. Yu. Svinoroev, V. Kostrub, O. Klimova New ecological binder materials based on vegetative raw aterials processintg products/Teka commission of motorization and power industry in agriculture Lublin university of technology Volodymyr Dal East-Ukrainian national university of Lugansk, Volume XB, Lubin 2010 – p. 227 - 231

8. Ravich B. M.-Briquetting in ferrous and non-ferrous metallurgy. - M.: Metallurgy, 1975. - 232 p.

9. M. R. Landow, Mark I. Crawford and M. Martinez. Benefits of Recycling Blast Furnace Waste Materials at National Steel - Great Lakes Division by Cold Bonded Briquetting: 59th Ironmaking conference proceedings. Pittsburgh. Pennsylvania. March 26-29.2000. PP. 225-231.

10. Cupola furnace forthe recycling of steel mill waste materials to liquid hot metal/ KUTTNER: Presentation on occasion of the Russo-Ukrainian blast furnace conference. Kosice. June 18-24.2001.

11. Ukhmylova G. S. Modern state and development of processes of coking of compacted charges abroad. Moscow: Chermetinformatsiya, 1981, No. 15 (108), 44s.

12. A. S. 1645763 USSR, MKI5 F23G5/20. Installation for thermal neutralization of waste with different heat of combustion and humidity / Guselnikov K. I., Kulagina N. V., Danilov O. I. et al.; Sib. phil. NPO Techenergohimprom. - N 4683599/33; Application 24.04.89; Publ. 30.04.91, Byul. N 16.

13. Sormatov M. I. Elements of the theory and calculation of presses for briquetting coal. M.: Ugletekhizdat, 1954. - 458с

14. Bashilov N. M., Bogomazova L. M., Konstantinov G. A. Rotary machine for solid waste briquetting // Ecol. and Industry of Russia. - 1999. - June. - p. 11-12.

15. Svinoroev Yu. A. Resource saving as a factor of sustainable economic development of the region//Materials of the scientific and practical conference "Business and Public Administration" on April 27-29, 2011-Slavyansk, 2011-p. 321-327.

16. Garin V. M., Khvostikov A. G. Trends in solving the problem of waste disposal. Labor protection and environmental protection: mezhvuz. sb. nauch. tr. Issue 3 / Rostov-on-Don State Academy of Agricultural Engineering. - Rostov-on-Don, 1999. - p. 83-84. - Bibliogr.: 5 titles.

17. Demina L. A., Morozova T. F. again on waste // Energy: Econ., tekhn., Ecol. - 2002. - N 10. - P. 58-64.

18. <http://briket.zp.ua/pubs/>

19. <http://briket.tehnodoc.ru/briketir.php>

20. <http://www.unitek-ltd.ru/>

21. Lurie, L. A., Briquetting in metallurgy. M.: Ugletekhizdat, 1963.-238с.

22. Non-waste utilization of household and industrial waste / Shantarin V. D., Artemyeva T. V., Dvoynikova A.V., et al. / / Oil and gas of Western Siberia: tez. dokl. mezhduarodn. nauch. - tehn. conf., Tyumen, 21-23 May, 1996. Vol. 1. - Tyumen, 1996. - p. 49-50.

Svinoroev Yr. A., Ryabichev V. D., Gutko Yr. I. LIGNOSULFONATE-BASED BINDER FOR COAL CRUMB BRIQUETTING TECHNOLOGY

The use of secondary raw materials and advanced technologies is the way to increase the competitiveness of production and products. Processing and disposal of man-made waste from coal production is important not only from the point of view of their use as an alternative source of raw materials, but also from the point of view of environmental protection. The use of new lignosulfonate binders-not expensive in cost, not scarce and environmentally friendly, for briquetting technology will solve one of the main problems that limit its wide application.

Keywords: binding materials, technical lignosulfonates (LST), briquettes, strength, binding capacity, coal waste, pelletizing, shlyb, utilization, briquetting technologies.

Свинороев Юрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленного и

художественного литья» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: desna.us@yandex.ru

Svinoroev Yuri Alekseevich, candidate of technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Artistic Casting SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

Рябичев Виктор Дронович, доктор технических наук, профессор, ректор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: desna.us@yandex.ru

Ryabichev Viktor Dronovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

Гутько Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор, первый проректор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: desna.us@yandex.ru

Gutko Yuri, Doctor of Technical Sciences, Professor, First Vice-Rector of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, д.т.н., проф., проректор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Статья подана 15.06.2021

УДК 621.926

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВИАЦИОННОГО И НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧС

Андреев А.А., Сингеев А.В.

INTERACTION OF AIR AND GROUND TRANSPORT IN EMERGENCY RESPONSE

Andreev A.A., Singeev A.V.

Статья посвящена взаимодействию авиационного и наземного транспорта при ликвидации пожаров, техногенных катастроф, наводнений и других ЧС, совершенствования технологий совместного использования АТ и НТ в применении новой модели использования вертолётных хабов, повышения уровня надёжности, безопасности и своевременности принятия решения на ликвидацию ЧС и их последствий в отдалённых и труднодоступных районах. Оптимизации уже существующих аэродромов, вертолётных площадок и т.д., которые были законсервированы или просто оставлены в связи с конверсией и в которые нет необходимости вкладывать большие средства на строительство и создание подъездных путей и инфраструктуры.

Ключевые слова: авиационная техника, наземная техника, специальная техника, специальный транспорт, вертолётные хабы, авиабаза, летательные аппараты, спасательный - пожарный вертолёт, МЧС, автотопливозаправщик, автоцистерна, пожаротушение, наводнение, чрезвычайная ситуация, наземный передвижной командный пункт управления.

Введение. Важнейшим направлением развития и применения транспортных технологий в ЧС, является совместное использование специального авиационного и наземного транспорта, для спасения жизни людей, животных и окружающей нас среды, а также сбережение материальных средств, моторесурса и природных ресурсов.

Прогресс не стоит на месте, человечеству дан новый вызов в виде новых и участвовавших старых ЧС. Поэтому совершенствование технологий использования специального авиационного и наземного транспорта и его взаимодействие необходимо поднимать на уровень возросшего технологического прогресса.

Анализ последних исследований и публикаций. За последние 2 года произошёл существенный рост ЧС. Ежедневно в среднем происходило 1292 пожара, во время которых погибало 23 человека, травмы получали 26 человек, ежедневный ущерб составлял 49,8 млн рублей. Рост

количеств пожаров отмечен во всех субъектах РФ, в пятерку «лидеров» по количеству пожаров вошли следующие регионы:

- Приморский край – 18377 случаев;
- Алтайский край – 14268 случаев;
- Новосибирская область – 12999 случаев.

Субъекты РФ, в которых отмечался рост числа погибших на пожаре:

- Свердловская область – 339 человек;
- Республика Башкортостан – 274 человека;
- Красноярский край – 226 человек.

Наибольший рост количества погибших детей на пожарах отмечался в Красноярском (28 человек), Хабаровском крае (18 человек), Новосибирской области (20) и в Республике Башкортостан (18).

Основными причинами гибели людей при пожарах в докладе названы отравление токсичными продуктами горения – 5309 человек (62%), и воздействие высоких температур – 916 человек (10,7%). От неустановленных причин погибли 1552 человека (18,1%).

Площадь лесных пожаров в Сибири на 29 июля 2019 года составила 1 млн 603 тыс. га, зафиксировано 232 очага. Наиболее сложная обстановка отмечалась в Иркутской области и Красноярском крае.

Важно, что Правительство РФ с Министерством финансов РФ выделяет денежные средства на создание Федерального межрегионального лесопожарного центра "Север", который создан в 2021 году на базе подведомственного Рослесхозу ФБУ "Авиалесоохрана", разместится он в трех крупных лесных регионах: Красноярском крае, Иркутской области и Забайкалье. В его составе должно быть по меньшей мере 6 ЛА, вертолётов Ми-8 МТВ1, самолёты и другое дополнительное транспортно-технологическое оборудование.

Пожарная обстановка в мире остаётся напряжённой. В Испании, США, Латинской Америке и др. горят лесные массивы, а иногда огонь сжигает целые населённые пункты. Так, в США,

развитой техническими средствами пожаротушения стране, уничтожен огнём целый город Парадайс, с населением 27 тыс. жителей. Проведение таких исследований представляет практическую ценность и научный интерес [4, 5].

Цель исследования. Исследование проводилось с целью достижения совершенства при внедрении новой стратегии и методов совместного использования авиационного и наземного транспорта в применении транспортных технологий при ЧС, применения новых моделей в сбережении ресурсов, сил и средств. Более качественное и быстрое устранение последствий ЧС (пожаров, землетрясений, вулканических извержений и т.д.).

Материалы и результаты исследования. Методы решения проблемы ЧС лежат именно в идее взаимодействия видов авиационного и наземного транспорта. Необходимость своевременного реагирования на складывающуюся ЧС, решение рассматриваемой проблемы обязывает и требует чёткой организации в ликвидации ЧС и её последствий. Совместное использование АТ и НТ при спасении людей, животных, социальной инфраструктуры, природных ресурсов и т.д. позволит снизить затрачиваемое время на ликвидацию любых нестандартных чрезвычайных ситуаций (пожар, наводнение, землетрясение и т.д.).

При подготовке научной статьи были проведены обзор, анализ и исследование ресурсосберегающей эксплуатации современного специального автотранспорта России при взаимодействии АТ и НТ в ликвидации ЧС. Рассмотрен маршрут движения в крупнейшем регионе РФ, в отдалённых районах Красноярского края, Урала, Забайкалья и т.д.

Произведены расчеты и исследования с учетом факторов, влияющих на характеристики подвижного состава автомобильного специального транспорта (грунт, песок, горная местность), при эксплуатации на крутом спуске, подъёме в горных условиях и пересечённой местности. Были выполнены расчёт, исследование и сравнение расхода топлива АТ С и ПВ Ми-8 МТВ1 на разных режимах работы (набор высоты, прямолинейный полёт, спуск, маятниковый режим) непосредственно с авиабазы и с ВХ.

Обозначения, используемые в статье:

– АТ (авиационный транспорт) – вид транспорта производящий перевозку грузов и пассажиров воздушным путём с помощью летательных аппаратов: самолётов, вертолётных и др.

– НТ (наземный транспорт) – перемещающееся только или преимущественно по земле. Таким образом оно участвует в наземном сообщении. Основной целью или, соответственно, областью применения является транспортировка людей (пассажирский транспорт) или грузов (грузовой транспорт) по земле.

– НПКПУ (наземный передвижной командный пункт управления) – комплекс, транспортное средство или передвижной блок, оборудованный

необходимыми средствами связи, автоматизации, оповещения, жизнеобеспечения, в котором размещается и работает командование группы ликвидаторов ЧС.

– ЧС (чрезвычайные ситуации) – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери или нарушение условий жизнедеятельности людей [1].

– С и ПВ МЧС (спасательные и пожарные вертолеты МЧС) – спасательные и пожарные вертолёты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) – федеральное министерство, одна из аварийно-спасательных служб России.

– АТЗ (автотопливозаправщик) – транспортное средство, предназначение которого осуществлять перевозку светлых нефтепродуктов до потребителей и осуществлять отпуск топлива для автомобилей и другой специализированной техники.

– АЦ (автоцистерна) – пожарная машина на шасси УРАЛ-4320, относится к основным пожарным автомобилям общего применения, в большинстве случаев используется в «безводных районах».

– ЛА (летательный аппарат) – общее название устройства (аппарата) для полётов в атмосфере или космическом пространстве.

– ВХ (вертолётный хаб) – это логистический хаб, т.е. подготовленный для взлёта и посадки ЛА участок земной поверхности, с подъездными путями склад нового времени, законсервированный или оставленный аэродром.

– СТ (спецтранспорт, спецтехника) – комплекс механизмов, которые применяются в определенной отрасли для решения специфических задач.

– БПЛА (квадрокоптер, дрон) – беспилотный летательный аппарат.

– ВСУ – водосливное устройство.

Важную роль при планировании логистики взаимодействия авиационного и наземного транспорта играет разведка местности при прокладывании маршрута следования (рис. 9) топливозаправщика с НПКПУ к месту расположения мобильного вертолётного пункта (ВХ), с помощью БПЛА (рис. 8).

Предложенная нами модель создания ВХ, совместная использования АТ и НТ надёжна, безопасна, просчитана и должна быть согласованной на всех уровнях. Также модель создания ВХ обязательно будет иметь свою структуру, общее руководство в виде НПКПУ для управления передовой командой десанта (ликвидаторов ЧС) и комплект:

- мобильная и космическая связь (ГЛОНАСС, рации и т.д.);
- генератор и другие специальные средства;
- БПЛА.

Для обеспечения технического обслуживания вертолета (ЛА) на ВХ предполагается включить в наземную колонну и второй автомобиль на базе УРАЛ-4320 в качестве пункта управления полетами вертолета и БПЛА.

В сложных дорожных условиях для преодоления крутых подъемов и пересеченной местности возможна транспортировка топливозаправщика двойной тягой автомобилями УРАЛ.

Для эффективного использования транспортных средств особое внимание уделялось составлению суточного плана-графика взаимодействия автомобилей в колонне и вертолета МИ-8 (рис. 1).

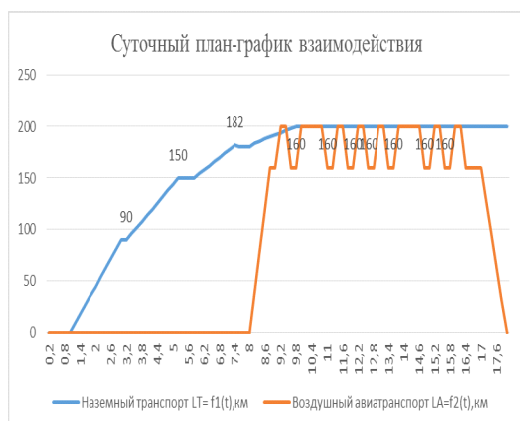


Рис. 1. Суточный план-график взаимодействия АТ и НТ при ликвидации ЧС

На рисунках ниже представлены виды АТ и НТ, задействованных на ВХ для тушения пожара и устранения последствий ЧС [4].

С и ПВ Ми-8МТВ1 (рис. 2), АТЗ-10 (рис. 3), АЦ-7.5-40 (4320) 006МИ (рис. 4), ВСУ-5 (рис. 5), флекситанк (рис. 7), «Феникс» (БПЛА) (рис. 8).



Рис. 2. Процесс набора и сброса воды С и ПВ Ми-8МТВ-1 из ВСУ-5



Рис. 3. Топливозаправщик АТЗ-10



Рис. 4. Автоцистерна пожарная АЦ-7.5-40 (4320) 006МИ



Рис. 5. Водосливное устройство (ВСУ-5)



Рис. 6. Утягивание ёмкости (ВСУ-5)

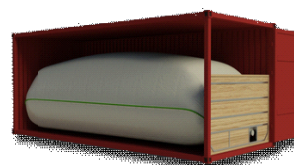


Рис. 7. Вид флекситанка для тушения пожаров



Рис. 8. Беспилотный комплекс «Феникс» (БПЛА)

Оптимизация законсервированных или оставленных аэродромов. Для использования в виде ВХ в районах восточной части РФ приведены в табл. 1. В ЛНР можно предложить аэродромы бывшего аэродрома «ВВВАУШ», аэропорта, полевого аэродрома «Весёлая Тарасовка» и т.д. Желательно, чтобы аэродромы, вертолётные площадки и т.д. находились в непосредственной близости от расположения населённых пунктов, посёлков и т.д. Такое расположение предполагает большую перспективу «вторичного» использования в складывающейся чрезвычайной обстановке [6]. Обеспечение ВХ средствами дозаправки для ЛА, при взаимодействии видов АТ и НТ более чем обоснованно, уместно и не требует больших финансовых капиталовложений в строительство соответствующей инфраструктуры.

При большом распространении пожара и многократными дозаправками ЛА, пополнение топливом АТЗ-10 можно реализовать от ж/д станций, морских и речных узлов.

Таблица 1

Неиспользуемые, законсервированные, оставленные аэродромы

Наименование аэродрома	Возможные типы базирующихся воздушных судов	Примечания
Алакертти, Мурманская обл.	Ми-8, Ми-26	Заброшен.
Алейск, Алтайский кр.	Ми-4 → Ми-8	Аэродром ликвидирован.
Амдерма, Ненецкий АО	Ми-4 → Ми-8	Аэродром ликвидирован.
Андреаполь, Тверская обл.	Ми-8, Ми-26	Заброшен.
Бада, Забайкальский кр.	Ми-8, Ми-26	Не используется
Барнаул (Панфилово)	Ми-8, Ми-26	Используется малой авиацией.
Безречная, Забайкальский кр.		Аэродром разобран.
Бердск-Центральный, Новосибирская обл.	Ми-6, Ми-8, Ми-26	Используется как спортивный
	Ми-8, Ми-26	Используется как спортивный
	Ан-2, Ми-2,	Используется как спортивный.
Воздвиженка, Приморский кр.		Аэродром используется АРЗ.
Возжаевка, Амурская обл.	н/д	Аэродром разобран.
Камень-на-Оби		Заброшен.

Предложим план логистических операций при ликвидации ЧС:

- постановка задачи на выполнение ликвидации ЧС (пожар, землетрясение и др.);
- разведка обстановки в районе ЧС с помощью систем слежения (рис. 8) [3];

- принятие решения и отправление в посёлок (населённый пункт) в районе ЧС топливного заправщика АТЗ-10 Урал 4320 (в составе с пунктом управления и автоцистерной пожаротушения АЦ-7.5-100);

- комплектация на главной авиабазе С и ПВ Ми-8 МТВ1 оборудования и десантников (ликвидаторов ЧС);

- взлёт к месту забора воды в подвесную ёмкость ВСУ-5 или флекситанк;

- вылет к месту базирования десанта и установки ёмкости с водой;

- разведка обстановки и возврат к месту забора воды;

- транспортировка воды к месту базирования десанта (ликвидаторов ЧС) и к месту сброса воды;

- после выработки топлива выполняется возврат к месту расположения топливозаправщика и заправка топливом;

- повторение операций по устранению (ЧС), тушению пожара;

- после ликвидации ЧС возврат к месту с десантом на главную Авиабазу;

- в случае продолжения ЧС в работе ВХ и наличии топлива АТЗ-10 остаётся на ВХ в режиме ожидания передислокации на следующий день;

- в случае полного расходования топлива для АТ, АТЗ-10 возвращается за новой заправкой топлива для продолжения ликвидации ЧС.

На рис. 9, показана карта-схема выбора места положения ВХ, маршрут движения (СТ и АТ) Урал-4320 (АТЗ-10, АЦ-7.5-40) и план полёта вертолёта на ликвидацию ЧС.

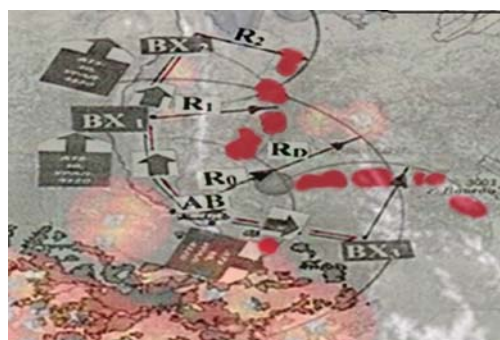


Рис. 9. Карта-схема выбора места положения ВХ, маршрут движения (СТ и АТ) Урал-4320 (АТЗ-10, АЦ-7.5-40)

Здесь R_D – max радиус действия вертолёта;

R_0 – радиус полёта вертолёта на тушение пожара для безопасного возврата на базу;

R_1 – радиус полёта вертолёта на тушение пожара для безопасного возврата на ВХ1 (маятниковый режим);

R_2 – радиус полёта вертолёта на тушение пожара для безопасного возврата на ВХ2 (маятниковый режим);

R_3 – радиус полёта вертолёта на тушение пожара для безопасного возврата на ВХ3 (маятниковый режим);

▲ – маршрут движения АТЗ-10 УРАЛ-4320, АЦ-7,5-100 к вертолётным хабам (ВХ).

Маршрут движения в горной местности к ВХ охарактеризован следующими участками:

– $L_1 = 50$ км – пригородные дороги с твёрдым покрытием $i = 0\%$, $f_1 = 0,03$;

– $L_2 = 100$ км – грунтовые дороги $i = 2\%$, $f_2 = 0,045$;

– $L_3 = 30$ км – грунтовые дороги $i = 8\%$, $f_3 = 0,060$;

– $L_4 = 14$ км – грунтовые дороги. Влажный песок $i = 12\%$, $f_4 = 0,080$;

– $L_5 = 6$ км – горные дороги $i = 18\%$, $f_5 = 0,050$.

Общая протяженность маршрута автоколонны равна:

$$L_0 = 50 + 100 + 30 + 14 + 6 = 200 \text{ км.}$$

Расчетные удельные сопротивления движению автомобилей на участках маршрута равны:

$$\Psi_1 = (f_1 + i_1) * g = (0,03 + 0) * 9,8 = 0,294;$$

$$\Psi_2 = (f_2 + i_2) * g = (0,045 + 0,02) * 9,8 = 0,639;$$

$$\Psi_3 = (f_3 + i_3) * g = (0,060 + 0,08) * 9,8 = 1,37;$$

$$\Psi_4 = (f_4 + i_4) * g = (0,080 + 0,12) * 9,8 = 1,96;$$

$$\Psi_5 = (f_5 + i_5) * g = (0,080 + 0,18) * 9,8 = 2,54.$$

На основании технической характеристики автомобиля АТЗ-10 Урал-4320 и исходных данных рассчитан динамический паспорт и расход топлива на перевозку груза один автомобиль (автомобиль + прицеп грузоподъемностью 4 т с собственным весом 1,3 т). Тип покрытия дороги: асфальтобетонное, грунтовая, горная. Масса груза: $M_{гр} = 11,0$ т. Принять собственный вес прицепа 0,33% от заданной грузоподъемности прицепа. Условно не будем учитывать время и затраты на замедления, остановки и разгоны в пути. Масса гружёного автопоезда $G_{гр} = 23220$ кг. Масса порожнего автопоезда $G_{пн} = 12220$ кг.

Динамический паспорт определим по формуле:

$$D = \left(\frac{M_e u_r \eta_r}{R_k} g - k F v_{ag}^2 \right) \frac{1}{G_a}. \quad (1)$$

Для каждого участка рассчитывается скорость равномерного движения колонны по маршруту на каждой передаче, их значения могут быть определены по формуле:

$$V = \pi * n * R_k / (30 * u_r) = 0,0625 \pi / u_r, \text{ м/с}; \quad (2)$$

$$u_r = i_{кп} i_{гп} i_{рк}; \quad (3)$$

$$v_a = \frac{\pi n R_k}{30 u_r}, \text{ м/с}, \quad (4)$$

где M_e – крутящий момент двигателя (определяется исходя из скоростной характеристики двигателя автомобиля), кг·м/с;

n – частота вращения коленчатого вала двигателя автомобиля, об/мин;

u_r – общее передаточное число трансмиссии, определяемое в соответствии с передаточными числами коробки переключения передач, главной передачи и раздаточной коробки;

η_r – к.п.д., трансмиссии;

R_k – радиус качения колеса, м;

k – коэффициент обтекаемости кузова, кг·с²/м⁴;

F – площадь поперечного сечения кузова, м²;

$g = 9,805$ – ускорение свободного падения, м/с²;

G_a – полная масса автомобиля (с грузом), кг;

V_a – скорость автомобиля, м/с.

По рассчитанным динамическим паспортам транспортных средств автоколонны (топливозаправщик с прицепом, автомобиль – НПКПУ, автопоезд в полном составе), построим графики:

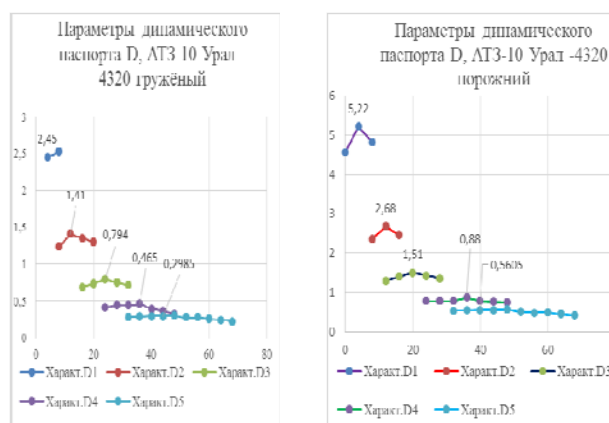


Рис. 10. Графики динамического паспорта автопоезда в составе АТЗ-10 на базе УРАЛ-4320

На рис. 10 видно, что параметры динамического паспорта автопоезда в гружёном состоянии приблизительно в два раза ниже, чем параметры в порожнем состоянии, что приводит к значительному увеличению расхода топлива.

Для движения автоколонны на ВХ приняты следующие условия:

1. Через каждые 2 часа движения колонны выполняется остановка для отдыха и осмотра техники.

2. Начало движения автоколонны выбирается с учетом того фактора, что колонна прибывает в пункт назначения за 1 час перед прибытием на ВХ вертолета с десантом.

3. Вылет вертолета из авиабазы по метеорологическим условиям производится в 8.00. Предполагается, что вертолет преодолевает расстояние 200 км от авиабазы до места расположения ВХ в 9.00. После разведки обстановки и места ЧС принимается решение о высадке десанта для ликвидации ЧС и возврата к месту набора воды и доставке ее к флекситанку в месте высадки десанта и возврата в ВХ в 9.40. К этому времени ожидается прибытие автоколонны с топливозаправщиком и пунктом управления полетами. Для преодоления расстояния 200 км с учетом остановок в пути колонне понадобится 8-9 часов. Начало движения автоколонны с авиабазы к ВХ около 1.00.

При расчете характеристик работы вертолета (массы заправляемого топлива, времени полета и расхода топлива), согласно руководству по летной эксплуатации Ми-8 [2], учитывались следующие факторы:

- расстояние по маршруту;
- высота полета;
- среднее значение ветра по величине и направлению;
- неизменяемая масса вертолета;
- масса коммерческой нагрузки;
- аэронавигационный запас топлива;
- температура воздуха;
- взлет, разгон и установка режима набора высоты.

Выводы. 1. Обострение обстановки с ЧС в отдалённых районах РФ требует совершенствования применения новых методов взаимодействия АТ и НТ в плане активизации ликвидации ЧС и ресурсосбережения энергоносителей, что может быть доступно всемерным использованием законсервированных или оставленных аэродромов в качестве мобильных вертолётных хабов, со своевременной доставкой топлива автозаправщиками.

2. Использование взаимодействия АТ и НТ на ВХ позволит увеличить производительность доставки грузов к месту ЧС и снижению расхода топлива АТ в 3-7 раз по сравнению с вариантом применения АТ из авиабазы.

3. Обеспечение ВХ средствами дозаправки для ЛА при взаимодействии видов АТ и НТ обоснованно, уместно и не требует больших финансовых вложений в создание инфраструктурных объектов.

Л и т е р а т у р а

1. Безопасность жизнедеятельности: толковый словарь терминов / Г.В. Тягунов, А.А. Волкова, Е.Е. Барышев, В.С. Цепелев, В.Г. Шишкунов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 236 с.

2. Кушельман В.Я., Лобачев Е.Н., Руппель К.К., Евдокимов Ю.И., Страдомский О.Ю. – М.: РЛЭ (Руководство по лётной эксплуатации вертолёт Ми-8Т), 2003. – 496 с.

3. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика / Тимоти У. МакЛэйн. – М.: Техническая литература, Мир радиоэлектроники, 2015. – 116 с.

4. <https://www.mchs.gov.ru/>.

5. <https://tass.ru/v-strane/>.

6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.

R e f e r e n c e s

1. Safety of life: explanatory dictionary of terms / G. V. Tyagunov, A. A. Volkova, E. E. Baryshev, V. S. Tsepelev, V. G. Shishkunov. Yekaterinburg: Ural Publishing House. un-ta, 2015. – 236 p.

2. Kushelman V. Ya., Lobachev E. N., Ruppel K. K., Evdokimov Yu. I., Stradomsky O. Yu. – M.: RLE (Manual for flight operation of the Mi-8T helicopter), 2003. – 496 p.

3. Small unmanned aerial vehicles: theory and practice / Timothy W. McLane. – M.: Technical literature, World of Radio Electronics, 2015. – 116 p.

4. <https://www.mchs.gov.ru/>.

5. <https://tass.ru/v-strane/>.

6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.

Andreev A.A., Singeev A.V.

INTERACTION OF AIR AND GROUND TRANSPORT IN EMERGENCY RESPONSE

The article is devoted to the interaction of aviation and ground transport, in the elimination of fires, man-made disasters, floods and other emergencies, the improvement of technologies for the joint use of AT and NT in the application of a new model for the use of helicopter hubs, increasing the level of reliability, safety and timeliness of decision-making to eliminate emergencies and their consequences in remote and hard-to-reach areas. Optimization of existing airfields, verto-flight platforms, etc., but which have been mothballed or simply abandoned due to conversion, and in which there is no need to invest heavily in the construction and creation of access roads and infrastructure.

Key words: aviation equipment, ground equipment, special equipment, special transport, helicopter hubs, air base, flying apparats, rescue and fire helicopter, Ministry of Emergency Situations, fuel tanker, tanker truck, fire fighting, flood, emergency, ground mobile command post..

Андреев Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: tmtl_snu@mail.ru

Andreev Alexander, Candidate of Technical Sciences (Engineering), Associate Professor of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: tmtl_snu@mail.ru

Сингеев Андрей Васильевич, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: andrejsingeev522216@gmail.com

Singeev Andrey, senior lecturer of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: andrejsingeev522216@gmail.com

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 06.04.2021

УДК 656.613

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ОТДАЛЁННЫХ И ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ

Андреев А.А., Сингеев А.В., Петров А.Г.

IMPROVEMENT OF TRANSPORT TECHNOLOGY FOR EMERGENCY RESPONSE IN REMOTE AND HARD-TO-REACH AREAS

Andreev A.A., Singeev A.V., Petrov A.G.

Статья посвящена актуальности решения возникшей в последнее время проблемы ЧС, пожаров, техногенных катастроф, селей, наводнений и др. в отдалённых и труднодоступных районах, куда невозможно или трудно доставить специальную технику и персонал для ликвидации последствий. Одним из важных направлений развития и применения транспортных технологий в ЧС является комбинированное использование специального транспорта для спасения жизни людей и окружающей уникальной среды, а также существенной экономии материальных средств и природных ресурсов в отдалённых и труднодоступных районах.

Ключевые слова: специальная техника, специальный транспорт, вертолётные хабы, авиабаза, летательные аппараты, спасательный – пожарный вертолёт, МЧС, автотопливозаправщик, автоцистерна, пожаротушение, наводнение, чрезвычайная ситуация.

Введение. Одним из важных направлений развития и применения транспортных технологий в ЧС является комбинированное использование специального транспорта для спасения жизни людей и окружающей уникальной среды, а также существенной экономии материальных средств и природных ресурсов в отдалённых и труднодоступных районах.

В настоящее время участились пожары, наводнения, землетрясения, ураганы, сели, цунами и др. бедствия опасного природного и техногенного характера, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей, значительные материальные потери, разрушения социальной инфраструктуры и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Особенно эти ЧС сложны и опасны в отдалённых и труднодоступных районах, так как находятся на значительном удалении от центров расположения служб МЧС и других аварийно-спасательных служб, а также потому, что в отдалённые районы трудно доставить специальную технику и персонал для принятия мер спасения

людей, животных, материальных ресурсов и имущества.

Анализ последних исследований и публикаций. Актуальность решения возникшей в последнее время проблемы чрезвычайных ситуаций в отдалённых и труднодоступных районах говорит сама за себя и вытекает из создавшейся на планете Земля сложной обстановки.

Правительство РФ с Министерством финансов РФ приняло решение о выделении денежных средств на создание противопожарного центра «Север», в составе 6 вертолётов Ми-8 МТВ1, самолётов, дополнительного транспортно-технологического оборудования.

За 2019 год в России было зарегистрировано 471537 пожаров, во время которых было спасено 226319 человек и материальных ценностей на сумму 62,2 млрд рублей. Не смогли избежать гибели 8567 человек, в том числе 406 детей, травмы получили 9477 человек, материальный ущерб от пожаров составил 18,2 млрд рублей. По сравнению с 2018 годом количество пожаров выросло на 257%, погибших – на 8,3%, размер материального ущерба увеличился на 17,1%, число травмированных снизилось на 1,8%. Мировая тенденция повышения происхождения ЧС продолжается.

Сибирский окружной информационный центр сообщил, что площадь лесных пожаров в Сибири в настоящий момент составляет 1 млн 603 тыс. га, зафиксировано 232 очага. Наиболее сложная обстановка отмечается в Иркутской области (137 пожаров) и Красноярском крае (94). Всего, по данным Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоза), в России горит около 2,3 млн га леса. Проведение исследований представляет практическую ценность и научный интерес [4-6].

Цель исследования. Исследование проводилось с целью формирования стратегии создания и применения транспортных технологий в использовании вертолётных хабов (ВХ) в ЧС, для приёма и обслуживания специальными

автомобилями (специальной техники) в отдалённых и труднодоступных районах, ресурсосбережения, а также снижения затраченного драгоценного времени на спасение людей в ЧС (пожаротушение, наводнение) и других опасных природных и техногенных явлений. Минимизация потерь от нанесённых ущербов в результате ЧС, которая исчисляется миллиардами рублей.

Материалы и результаты исследования.

Общие понятия и термины:

– ЧС (чрезвычайные ситуации) – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери или нарушение условий жизнедеятельности людей [1].

– С и ПВ МЧС (спасательные и пожарные вертолеты МЧС) – спасательные и пожарные вертолеты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) – федеральное министерство, одна из аварийно-спасательных служб России.

– АТЗ (автотопливозаправщик) – транспортное средство, предназначение которого – осуществлять перевозку светлых нефтепродуктов до потребителей и осуществлять отпуск топлива для автомобилей и другой специализированной техники.

– ЛА (летательный аппарат) – общее название устройства (аппарата) для полётов в атмосфере или космическом пространстве.

– ВХ (вертолётный хаб) – логистический хаб, т.е. подготовленный для взлёта и посадки ЛА участок земной поверхности, с подъездными путями склад нового времени, законсервированный или оставленный аэродром.

– СТ (спецтранспорт, спецтехника) – комплекс механизмов, которые применяются в определенной отрасли для решения специфических задач.

– БПЛА (квадрокоптер, дрон) – беспилотный летательный аппарат [4].

– ВСУ – водосливное устройство.

– АТ – авиационная техника.

ЧС сложны и опасны особенно в труднодоступных и отдалённых районах, так как находятся на значительном удалении от центров расположения служб МЧС и других аварийно-спасательных служб и ведомств. Зачастую спасательные и пожарные службы испытывают затруднения в ликвидации последствий ЧС в труднодоступных местах и не имеют возможности применить имеющуюся СТ по прямому назначению из-за неразвитости инфраструктуры.

Тому подтверждение – ситуация с крупным пожаром в городе Анапа 12.03.2021 года. К ликвидации пожара привлечены 130 человек и 34

единицы техники. В данном пожаре не применялись С и ПВ, а уместность такого применения, возможно, сократила бы время тушения пожара и снизила нанесённый имущественный ущерб [5].

Власти Австралии направили вертолеты (рис. 1) и боевые корабли в районы, где бушуют масштабные природные пожары, в том числе на побережье, где огонь блокировал порядка 4 тысяч человек, которые застряли на побережье у австралийского города Маллакута. Они оказались отрезанными от большой земли стеной огня [6].



Рис. 1. Пожарный вертолёт Сикорского S-64Е (Австралия)

В других местах люди также пытаются найти спасение от огня на пляжах в окруженных огнем прибрежных городах. Некоторые австралийцы вышли в море на собственных лодках, надеясь спастись от пламени.

Ситуация осложнилась до того, что в некоторых местах пламя оказалось столь сильным, а дым таким густым, что пожары стало невозможно тушить. В Австралии одновременно горят более трех миллионов гектаров леса.

Решение проблем ЧС в отдалённых и труднодоступных районах. Создание вертолётных хабов (ВХ) для приёма и обслуживания АТ и СТ, для снижения затраченного драгоценного времени на пожаротушение минимизирует потери от нанесённых ущербов в результате ЧС.

Обеспечение ВХ средствами дозаправки для ЛА в удалённых и труднодоступных районах и расположениях (тайга, лес, горная местность, высокая этажность строений), можно организовать от крупных узловых железнодорожных и морских узлов.

Предлагается использовать в комплексе оптимальный, на наш взгляд, вариант в виде привлечения к пожаротушению и ликвидации последствий наводнения, спасения людей и др., один или несколько вертолётов С и ПВ МЧС МИ-8МТВ-1 (рис. 2) с ВСУ-5 или флекситанком, топливозаправщик АТЗ-10 УРАЛ-4320 (рис. 3) с прицепом (передвижным пунктом управления МЧС), БПЛА (рис. 4) и пожарный автомобиль на базе Урал-4320 АЦ-7.5-100.



Рис. 2. Процесс сброса воды С и ПВ Ми-8МТВ-1 из ВСУ-5



Рис. 3. Топливозаправщик АТЗ-10, УРАЛ-4320

Данная модель в использовании законсервированных или оставленных после реформы аэродромов – просто находка в решении важных задач в ликвидации ЧС и минимизации затрат.

При выполнении ликвидаций ЧС зачастую требует большого расхода авиационного топлива и, соответственно, увеличивает время для тушения пожара, т.к. приходится возвращаться на удаленную от возгорания авиационную базу для дозаправки, что снижает возможности локализации и подавления пожара в кратчайший период времени.



Рис. 4. Беспилотный комплекс «Феникс» (БПЛА)

Есть информация открытого доступа, где видно, что существует большое количество брошенных или неиспользуемых аэродромов, вертолётных площадок, полевых аэродромов и т.д., поэтому создание вертолётных хабов (ВХ) на их основе не требует значительных затрат и выгодно для использования по их прямому назначению при сложившейся ЧС.

Необходимо выбрать местность, приближённую к очагу пожара с наветренной

стороны, чтобы не попасть в очаг задымления и воздействие пожара. Также нужно рассчитать возможную доставку топлива для ЛА, найти доступные водоёмы или средства для заправки водой (средствами пожаротушения) в ближайших к ВХ посёлках (населённых пунктах).

Для этих целей подходят топливозаправщик АТЗ-10 и машина для пожаротушения АЦ-7.5-100 на базе УРАЛ-4320. Технические характеристики данного автомобиля подходят для доставки на ВХ в труднодоступные места топлива и воды, соответственно, для тушения пожара.

Использование законсервированных или оставленных аэродромов. Большинство аэродромов было построено ещё в советский период (в 1950-е – 1970-е годы).

Оптимизация уже имеющихся ранее использованных аэродромов в отдалённых и труднодоступных районах Севера, Сибири и Дальнего Востока, находящихся в непосредственной близости от расположения посёлков и населённых пунктов, предполагает большую перспективу «вторичного» использования в складывающейся чрезвычайной обстановке. Неиспользуемые, законсервированные и заброшенные аэродромы малой авиации и других ведомств, полевые аэродромы для сельскохозяйственных нужд можно и нужно использовать при возникновении ЧС, не затрачивая, а в будущем значительно сэкономив моторесурс и средства. Информация о них существует в открытом доступе [7].

Визуализация и применение предложенной модели борьбы с ЧС в отдалённых и труднодоступных районах. Согласно технической характеристике, С и ПВ Ми-8МТВ-1 может взять на борт 24 десантника (ликвидатора ЧС), для расчёта по 100 кг на каждого пассажира, если учесть грузоподъёмность 4000 кг, то получится:

– расчёт остатка топлива С и ПВ, для выполнения задания по ликвидации ЧС (без учёта АНЗ):

$$G_d = n_d * g_d; \quad (1)$$

$$G_{T1} = G_{Tm} - G_d, \quad (2)$$

где n_d – кол-во десантников на борту вертолёта;

g_d – масса одного десантника;

G_d – масса всех десантников;

G_{Tm} – максимальная заправка топлива;

G_{T1} – остаток топлива вертолёта для выполнения задания (без учёта АНЗ и НО).

$$1. \quad 24 * 100 = 2400 \text{ кг},$$

$$2. \quad 4000 - 2400 = 1600 \text{ кг}.$$

Учитываем неприкосновенный запас топлива (АНЗ) на конечном пункте маршрута 10-15% от заправки топливом и 100 кг на запуск, прогрев и руление вертолёта и невырабатываемый остаток топлива (НО) 80 кг [3]:

$$G_{TН/з} = G_{Tm} * 15\%; \quad (3)$$

$$G_{ТВ.з.} = G_{Tm} - G_{TН/з} - G_{ТП/р} - G_{ТН/о}; \quad (4)$$

$$T = G_{ТВ.з.} / q_{ч}; \quad (5)$$

$$R_D = (W * T) / 2, \quad (6)$$

где $G_{Тп/р}$ – масса топлива на прогрев и выруливание вертолѐта, кг;

$G_{Тв.з.}$ – масса топлива для выполнения задания, кг;

$G_{Тн/о}$ – масса невырабатываемого остатка топлива, кг;

q_n – среднечасовой расход топлива вертолѐта, кг/ч;

T – время на выполнение задания, ч;

W – путевая скорость вертолѐта, км/ч;

R_D – максимальный радиус действия вертолѐта.

1. $1600 * 15 = 240$ кг – АНЗ топлива на С и ПВ Ми-8МТВ1;

2. $1600 - 240 - 100 - 80 = 1180$ кг – остаток топлива для устранения ЧС;

3. $1180 : 640 = 1,8$ ч – что соответствует ~ 1ч 48 мин;

4. $(230 * 1,48) / 2 = 207$ км.

Таким образом, R_D max (максимальный радиус действия вертолѐта) при скорости 230 км/ч составит 207 км.

Карта-схема выбора места положения ВХ, маршрут движения (СТ и АТ) Урал-4320 (АТЗ-10, АЦ-7.5-40) приведена на рис. 5.

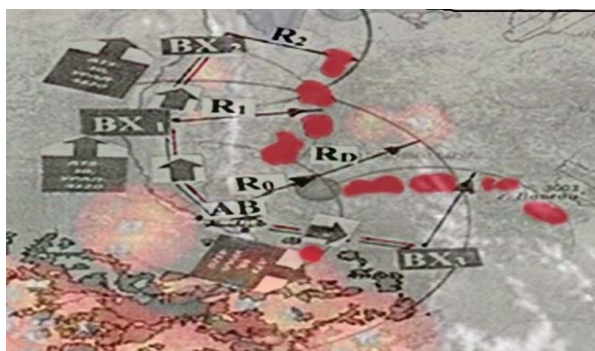


Рис. 5. Карта-схема выбора места положения ВХ, маршрут движения (СТ и АТ) Урал-4320 (АТЗ-10, АЦ-7.5-40):

R_D – максимальный радиус действия вертолѐта;

R_0 – радиус полѐта вертолѐта на тушение пожара для безопасного возврата на базу;

R_1 – радиус полѐта вертолѐта на тушение пожара для безопасного возврата на ВХ1 (маятниковый режим);

R_2 – радиус полѐта вертолѐта на тушение пожара для безопасного возврата на ВХ2 (маятниковый режим);

R_3 – радиус полѐта вертолѐта на тушение пожара для безопасного возврата на ВХ3 (маятниковый режим);

▲ – Маршрут движения АТЗ-10 УРАЛ-4320, АЦ-7,5-100 к вертолѐтным хамам (ВХ)

Логистические операции при устранении ЧС. Составление плана операции при ЧС:

– разведка обстановки в районе ЧС с помощью систем слежения (рис. 4) [4];

– принятие решения и отправление в посѐлок (населѐнный пункт) в районе ЧС топливного заправщика АТЗ-10 Урал 4320 (в составе с пунктом управления и автоцистерной пожаротушения АЦ-7.5-100);

– комплектация на главной авиабазе С и ПВ Ми-8 МТВ1 оборудования и десантников (ликвидаторов ЧС);

– взлѐт к месту забора воды в подвесную ёмкость ВСУ-5 или флекситанк;

– вылет к месту базирования десанта и установки ёмкости с водой;

– разведка обстановки и возврат к месту забора воды;

– транспортировка воды к месту базирования десанта (ликвидаторов ЧС) и к месту сброса воды;

– после выработки топлива выполняется возврат к месту расположения топливозаправщика и заправка топливом;

– повторение операций по устранению (ЧС), тушению пожара;

– после ликвидации ЧС возврат к месту с десантом на главную Авиабазу.

Расчѐт расхода топлива для С и ПВ на устранение ЧС:

$$W = V + (U * \cos \text{УВ}); \quad (7)$$

$$T_i = L / W; \quad (8)$$

$$L = W * T_i; \quad (9)$$

$$Q_i = (Q_T / 60) * T_i, \quad (10)$$

где L – расстояние, пройденное вертолѐтом на устранение ЧС, км;

Q_T – средний расход топлива вертолѐта за час полѐта, кг/ч;

Q_i – расход топлива вертолѐта за определённый промежуток времени, кг/ч;

W – путевая скорость вертолѐта, км/ч;

V – скорость вертолѐта, км/ч;

U – скорость ветра, км/ч;

УВ – угол ветра;

T_i – промежуток времени полѐта вертолѐта на устранение ЧС, мин.

Взаимодействие видов транспорта. Во взаимодействии видов специального транспорта и лежит основная идея данной статьи. Используя новую представленную модель борьбы с ЧС, нами предложено сформировать совместное использование автомобильной (СТ) и авиационной техники (АТ). Расчеты технических характеристик использования вертолетов для тушения пожаров из ВХ выполнялись в соответствии с требованиями руководства по летной эксплуатации МИ-8 с учетом: грузоподъемности, взлетной массы, времени взлета и набора высоты, времени полета, снижения и сброса воды, набора высоты и возвращение к месту ВХ и набору воды в водоеме. Результаты расчѐтов приведены на рис. 6 и 7.

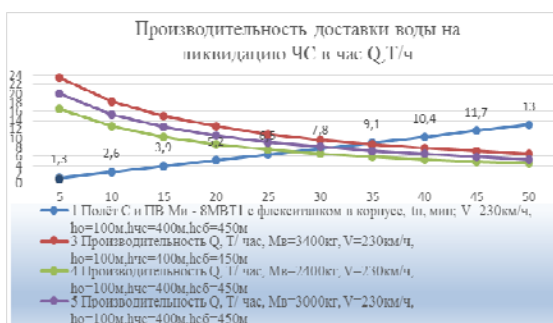


Рис. 6. График зависимости часовой производительности Q транспортировки воды (Мв), вертолетом Ми-8 МТВ1 от расстояния L к очагу ЧС

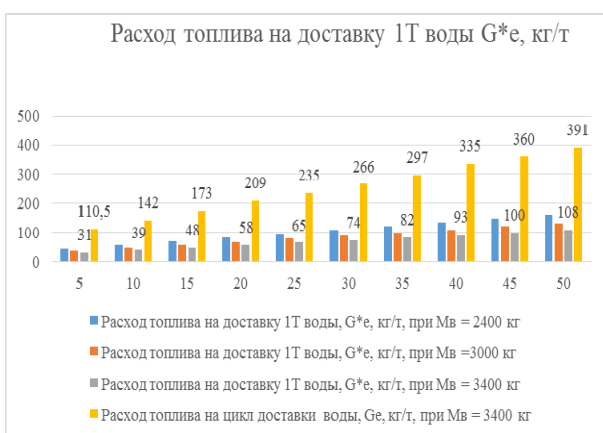


Рис. 7. График зависимости расхода топлива на доставку 1 т воды от радиуса действия вертолетом Ми-8 МТВ1 при различной Мв

Удельный расход топлива на доставку одной тонны груза на км различными видами транспорта. Согласно принятым условиям часть дорожного маршрута автотранспорта проходит по асфальтированному маршруту, часть – по грунтовым дорогам и часть – по пересечённой местности, причём масса груза (керосина и др.), перевозимого автопоездом, составляет 11000 кг, на расстояние до 200 км от авиабазы. Расход топлива для авто Урал рассчитывается в соответствии с нормой расхода топлива Минтранса РФ по формуле [2]:

$$Q_n = 0,01 \times (H_{san} \times S + H_w \times W) \times (1 + 0,01 \times D), \quad (11)$$

где Q_n – нормативный расход топлива, л;

S – пробег автомобиля или автопоезда, км;

H_{san} – норма расхода топлив на пробег автомобиля или автопоезда в снаряженном состоянии без груза, л/100 км;

$$H_{san} = H_s + H_g \times G_{пр}, \quad (12)$$

где H_s – базовая норма расхода топлив на пробег автомобиля (тягача) в снаряженном состоянии, л/100 км ($H_{san} = H_s$ – для одиночного автомобиля, тягача);

H_g – норма расхода топлив на дополнительную массу прицепа или полуприцепа, л/100 т·км;

$G_{пр}$ – собственная масса прицепа или полуприцепа, т;

H_w – норма расхода топлив на транспортную работу, л/100 т·км;

W – объем транспортной работы, т·км:

$$W = G_{гр} \times S_{гр}, \quad (13)$$

где $G_{гр}$ – масса груза, т;

$S_{гр}$ – пробег с грузом, км;

D – поправочный коэффициент (суммарная относительная надбавка или снижение) к норме, %.

В первом варианте дозаправка топливом Ми-8 МТВ1 предполагается через каждый 1 час работы, а масса разовой заправки топливом для выполнения задачи полёта может быть снижена до уровня 580 кг и, соответственно, увеличена полезная нагрузка с 2400 кг до 3400 кг, на расстояние до 50 км от ВХ до точки сброса воды, что повышает производительность на 25% при прочих равных условиях радиуса действия.

В предельном варианте, когда радиус действия не превышает 50 км от хаба, представляется возможным дозаправка выполнять не через 1 час, а в меньший промежуток времени. Для сравнения эффективности применяемой спецтехники представляется целесообразным выполнить расчёт удельного расхода топлива на доставку одной тонны груза на один км автомобильным транспортом по наземным дорогам и воздушным транспортом от ВХ до места доставки груза и применения в подавлении возгораний. Этот вариант предполагается для повышения производительности и увеличения скорости доставки от 160 км/ч на внешней подвеске до 230 км/ч, при расположении флекситанка в салоне С и ПВ, при соответствующей швартовке и центровке вертолёт [3]. Модернизация С и ПВ с установкой флекситанка потребует дополнительной установки мотопомпы.

Результаты расчёта удельного расхода топлива СТ и АТ на доставку 1 т груза за 1 км пути приведены на рис. 8.

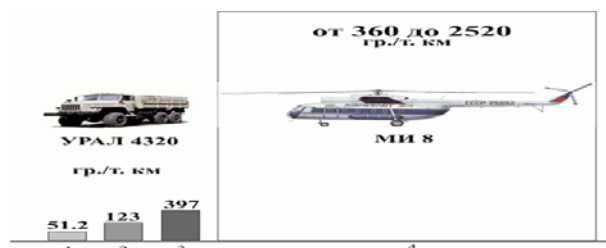


Рис. 8. Удельный расход топлива СТ и АТ на доставку 1 т груза за 1 км пути

Экономическая эффективность транспортной технологии ликвидации ЧС в отдалённых и труднодоступных местах (районах), при отсутствии разветвлённой дорожной инфраструктуры, определяется оптимальным вариантом доставки груза, а именно при взаимодействии автомобильного и воздушного транспорта.

Выводы. 1. Проведённые исследования о необходимости создания вертолётных хабов на основе оставленных в результате конверсии и оптимизации неиспользуемых, законсервированных аэродромов, для приёма и обслуживания специального транспорта (СТ, АТ) в условиях ЧС более чем обоснованны, расход топлива вертолёт в разы превышает расход АТЗ-10.

2. Суть решаемой в статье задачи ведёт к снижению затраченного драгоценного времени на пожаротушение (устранения ЧС), минимизирует потери от нанесённых ущербов и значительно сберегает ресурсы.

3. Обеспечение ВХ средствами дозаправки для ЛА в удалённых и труднодоступных районах (тайга, лес, горная местность и т.д.) можно организовать от крупных узловых железнодорожных и морских узлов.

4. Анализ показывает, что для выбранного маршрута доставки топлива к ВХ (GT = 11000 кг) на расстояние 200 км общий расход топливозаправщика (АТЗ-10), согласно выполненному расчёту, составил – 364 л.

5. В случае доставки на ВХ – 2400 кг топлива на расстояние 200 км вертолёт Ми-8МТВ1 потребляется 520 кг топлива, что для перевозки 11000 кг потребуется расход топлива 2383,5 кг, а это в 6,5 раз больше по сравнению с автомобильными доставками.

6. Для случая маятникового режима, доставки вертолёт с обратным порожним полурейсом, расход топлива увеличивается в два раза, до ~ 5700 кг или в 13 раз больше по сравнению с автомобильной перевозкой.

7. Уменьшая радиус действия С и ПВ Ми-8МТВ1 для пожаротушения и т.д., увеличивается эффективность ликвидации ЧС и уменьшаются затраты.

Л и т е р а т у р а

1. Безопасность жизнедеятельности: толковый словарь терминов / Г.В. Тягунов, А.А. Волкова, Е.Е. Барышев, В.С. Цепелев, В.Г. Шишкун. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 236 с.

2. Распоряжение Минтранса РФ от 14.03.2008 № АМ-23-р «О введении в действие методических рекомендаций "Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте».

3. Кушельман В.Я., Лобачев Е.Н., Руппель К.К., Евдокимов Ю.И., Страдомский О.Ю. – М.: РЛЭ (Руководство по лётной эксплуатации вертолёт Ми-8Т), 2003. – 496 с.

4. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика / Тимоти У. МакЛэйн. – М.: Техническая литература, Мир радиоэлектроники, 2015. – 116 с.

5. <https://www.mchs.gov.ru/>.

6. <https://tass.ru/v-strane/>.

7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.

R e f e r e n c e s

1. Safety of life: explanatory dictionary of terms / G. V. Tyagunov, A. A. Volkova, E. E. Baryshev, V. S. Tsepelev, V. G. Shishkunov. Yekaterinburg: Ural Publishing House. un-ta, 2015. – 236 p.

2. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of 14.03.2008 No. АМ-23-р " On the introduction of methodological recommendations "Fuel and lubricants consumption standards in road transport".

3. Kushelman V. Ya., Lobachev E. N., Ruppel K. K., Evdokimov Yu. I., Stradomsky O. Yu. – M.: RLE (Manual for flight operation of the Mi-8T helicopter), 2003. – 496 p.

4. Small unmanned aerial vehicles: theory and practice / Timothy W. McLane. – M.: Technical literature, World of Radio Electronics, 2015. – 116 p.

5. <https://www.mchs.gov.ru/>.

6. <https://tass.ru/v-strane/>.

7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.

Andreev A.A., Singeev A.V., Petrov A.G.

IMPROVEMENT OF TRANSPORT TECHNOLOGY FOR EMERGENCY RESPONSE IN REMOTE AND HARD-TO-REACH AREAS

The article is devoted to the relevance of solving the recent problems of emergencies, fires, man-made disasters, mudslides, floods, etc., in remote and hard-to-reach areas, where it is impossible or difficult to deliver special equipment and personnel to eliminate the consequences. One of the important directions of the development and application of transport technologies in emergencies is the combined use of special transport to save people's lives and the unique environment, as well as to significantly save material resources and natural resources in remote and hard-to-reach areas.

Key words: special equipment, special transport, helicopter hubs, air base, flying vehicles, rescue-fire helicopter, Ministry of Emergency Situations, fuel tanker, tanker truck, fire fighting, flood, emergency situation.

Андреев Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: tmtl_snu@mail.ru

Andreev Alexander, Candidate of Technical Sciences (Engineering), Associate Professor of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: tmtl_snu@mail.ru

Сингеев Андрей Васильевич, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: andrejsingeev522216@gmail.com

Singeev Andrey, senior lecturer of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: andrejsingeev522216@gmail.com

Петров Александр Георгиевич, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: qjdj@mail.ru

Petrov Alexander, senior lecturer of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: qjdj@mail.ru

Рецензент: Тарарышкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 06.04.2021

УДК 621.1

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ ТОПЛИВО ДЛЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

Андреев А.А., Чижевская Д.Ю.

RESOURCE-SAVING FUEL FOR TRACTOR GENERATORS

Andreev A.A., Chizhevskaya D.U.

Сделан обзор автотракторных газогенераторов с целью получения генераторного газа для ДВС. Рассмотрены свойства различных видов газогенераторных топлив и проведен их сравнительный анализ. Представлен ориентировочный эквивалент разных видов топлива по массе к бензину и дизельному топливу и анализ цен на основные виды топлива. Проведен сравнительный экологический анализ различных видов топлив. Рассчитаны основные параметры процесса газификации в зависимости от вида топлива. Предложен вариант модернизации пеллетного топлива и изложено обоснование процессов газогенерации и использование генераторного газа в газодизелях. Представлен сравнительный анализ норм на пеллетное топливо Германии, Австрии и Швеции.

Ключевые слова: автомобильный газогенератор, биотопливо, пеллеты, параметры газификации.

Неуклонное сокращение мировых запасов ископаемых топлив и их постоянное подорожание превращает энергообеспечение в одну из важнейших общегосударственных проблем. Одной из стратегических задач является эффективное использование как возобновляемых, так и не возобновляемых топливно-энергетических ресурсов [1, 2].

Стратегическое значение газогенераторной техники возрастает для автотракторных транспортных средств и автономных дизельных электростанций в отдаленных районах страны и в сложных погодных условиях в зимнее время, когда доставка дизельного моторного топлива затруднена. Имеется опыт перевода дизельных двигателей на газодизельный режим, когда до 70% жидкого топлива заменяется на сжатый газ – метан CH_4 . Это требует специального переоборудования системы двойного питания ДВС энергоносителями и доставки не только жидкого моторного топлива, но и сжатого или сжиженного газа.

Установка на мобильные и стационарные энерго- и транспортные системы газогенераторов с системами газоочистки и охлаждения при наличии местных источников древесины и твердых бытовых отходов в отдаленных районах позволит поднять

уровень и снизить зависимость автономной жизнедеятельности от далеко расположенных центров и источников жидкого моторного топлива, особенно при отсутствии развитой дорожной инфраструктуры.

Альтернативой углеводородному сырью для обеспечения работы двигателей внутреннего сгорания является использование транспортных газогенераторов, которые перерабатывают местное твердое топливо растительное или ископаемое (древесина, торф, бурые и каменные угли), а также производные от этих топлив (отходы лесозаготовки и деревообработки, биомасса растений, смесь мелкой фракции угля (до 25 мм) и угольной пыли, в соотношении 1:2, торфобрикеты, полукокс) [3-5].

Выпускаемые в настоящее время автомобильные газогенераторы, не требующие какой-либо серьезной переделки автомобиля, устанавливаются: на прицепе – прицепная газогенераторная установка типа «Имберт» фирмы VOLVO, ГГУ фирмы «Аттик» Украина; внутри кузова грузовых автомобилей – газогенераторный грузовой автомобиль, Франция; между кузовом и кабиной – УГК-150 с размером газогенератора, диаметр 600 мм, высота 1800 мм, общим весом – 300 кг, который использует в качестве топлива отходы деревообработки для двигателей от ЗИЛа и ГАЗа – до ЛАЗа и ЛуАЗа, ООО «Наша-Энергия», Украина, группа компаний "Адаптика", Россия; перед кабиной – трактор с газогенераторной установкой типа «Имберт» Франция [6].

Недостатком известных автомобильных газогенераторов является то, что они уменьшают полезную площадь транспортного средства или требуют использования прицепа.

Для увеличения полезного объема и площади кузова газогенераторного грузового автомобиля представляется целесообразным создание новых автоматизированных автомобильных газогенераторных аппаратов, которые бы имели минимальные габариты по высоте с целью установки их под кузовом автомобиля.

Одним из путей решения этой проблемы является разделение реакционной и бункерной зоны

газогенератора. Для осуществления такого разделения необходимо подобрать вид твердого топлива.

Целью работы является выбор твердого топлива для автоматизированных газогенераторных установок, применяемых для автотракторной техники, с минимальными размерами по высоте и массе.

Топливо, предназначенное для газогенераторных автомобилей, должно обладать: определенным размером кусков; определенной влажностью, минимальной зольностью и температурой плавления золы, которая не должна выходить за установленные пределы; определенным количеством летучих; высокой реакционной способностью; достаточной механической

прочностью или истираемостью, чтобы топливо не рассыпалось при транспортировке, хранении, а также при газификации в газогенераторе; высокой удельной теплотворностью; невысокой стоимостью. Последний показатель определяет экономичность применения того или иного вида топлива, а остальные показатели влияют на гибкость и устойчивость процесса газификации газогенераторного автомобиля, надежность работы газогенератора и периодичность его дозагрузки. Соответственно с показателями топливо делят на классы: 1 – топливо хорошего качества; 2 – топливо вполне удовлетворительного качества; 3 – топливо удовлетворительного качества. Характеристики газогенераторных топлив представлены в табл. 1 [5-15].

Таблица 1

Характеристики газогенераторных топлив

Топливо	Класс	Размер кусков, мм	Содержание в % по весу не более				Темпера- тура плавления золы, °С не менее	Насыпная плотность кг/м ³	Тепло- творность насыпного объема ккал/л	Исти- рае- мость %	
			влаги W _{абс}	золы А ^с	летучих V ^г	серы S ^с					
Отходы деревообработки	1	30×40×60	30	0,4-1	75-80	- - -	1400	220-360	1100 2450 ккал/кг		
Пеллеты с низким содержанием коры (первый сорт)		менее Ø8 l=0,5-30	5-7%	Менее 0,7	8-12			600	4500 ккал/кг		Не более 1
Промышленные пеллеты содержание коры более 0,7-1,5%		Ø 8-12 l=0,5-30	5-7%	более 0,7				500	4500 ккал/кг		Не более 1
Полукокс	2	10-40	9	8-11	9	1,0	1100	400-450	2900		
Антрацит	3	6-13	3-8,5	7-10	5-7	1-1,5	1250	900-1000	6400		

Размеры топлива влияют на их насыпную плотность и, как следствие, на объемы оборудования, а также на эффективность прохождения через шнековые системы подачи для автоматизированных генераторных установок и истираемость. Насыпная плотность – это показатель, с которым связаны затраты на транспортировку и хранение гранул. Чем она меньше, тем дороже перевозка. Насыпная плотность пеллет напрямую зависит от плотности топливных гранул и их диаметра. Плотность – показатель, который оказывает влияние на эффективность работы топок, скорость горения, расходы на транспортировку, хранение. Наибольшую насыпную плотность имеет антрацит и далее пеллеты с низким содержанием коры. Для этих видов топлива возможно применение бункера меньшего объема. Для шнековой системы подачи малого диаметра наиболее эффективно использование антрацита и далее пеллет с низким содержанием коры. Причем многие известные современные тепловые установки в силу конструкции системы подачи лучше

работают на 6 мм пеллетах. Производитель оборудования указывает тип и диаметр используемых пеллет. Использовать пеллеты других размеров не рекомендуется, так как, во-первых, автоматика котла настроена на оптимальную подачу воздуха и пеллет именно этого диаметра, во-вторых, использование пеллет большего размера, чем рекомендовано, ведет к повышенным нагрузкам на механику котла, что может привести к преждевременному выходу его из строя. Что касается истираемости, то у антрацита она будет наименьшей, так как он обладает наибольшей прочностью [5], а далее отходы деревообработки.

Влажность – показатель, который оказывает влияние не только на теплотворную способность, но и на стабильность при хранении, исключая самовозгорание, минимизирование потерь. Это показатель также влияет на работу газогенератора, снижая его КПД. Это связано с тем, что часть энергии при газификации древесины уходит на испарение содержащейся в ней воды. Наименьшее,

примерно одинаковое, значение содержания влаги имеет антрацит и пеллеты различных сортов.

Зольность является необходимым показателем, так как ее содержание в топливе приводит к снижению КПД газогенераторов, осложняет применение автоматики. В газогенераторах происходит зашлаковывание камеры газификации, в случае золы с низкой температурой плавления (топливо второго и третьего класса), и приводит к выбросам твердых частиц. Наименьшая зольность у топлив первого, а наибольшая – у топлив второго и третьего класса.

Не смотря на то, что большая часть серы относится к горючей части топлива, она является вредной примесью. Образующийся при сгорании сернистый ангидрид загрязняет окружающую среду и разрушает металлические поверхности газогенератора, системы очистки газа и двигателя. Из приведенных выше данных следует, что наиболее приемлемо для газификации топливо первого класса.

Показатель летучих веществ используют для выбора типа газогенератора. При использовании в ДВС генераторный газ должен содержать твердых частиц не более 10-50 мг/м³. Очевидно, для топлива из отходов деревообработки необходимо применять газогенератор с обращенным процессом, а для остальных топлив – прямой процесс газификации [16, 17]. Уменьшение летучих веществ в пеллетном топливе связано с особенностью их изготовления.

Большое значение имеет экономичность вида топлива. Ориентировочный эквивалент разных видов топлива по массе (немецкая классификация топлива для газогенераторов) с использованием (vistapellets.com) данных представлен в табл. 2.

Таблица 2

Ориентировочный эквивалент разных видов топлива по массе

Вид топлива	Количество твердого топлива в кг приходящееся	
	на один литр бензина	на один литр дизельного топлива
Древесина (Holz)	2-3	3,2-3,8
Торф (Torf)	2,5-3	4,5 кг
Бурый уголь (Braunkohle)	2,5	3,5
Древесный уголь (Holzkohle)	1,3	–
Антрацит (Anthrazit)	1,2-1,6	1,8-2,2
Пеллеты	1,25-1,87	2

В зависимости от величины рассчитанной рабочей теплотворной способности, учитывающей влажность и зольность, рассчитывают цену топлива. Этот показатель имеет значение и с точки зрения стоимости транспортировки топлива в больших объемах. Последние расчеты и анализ цен на основные виды топлива показывают, что пеллеты во многих случаях превосходят традиционные виды топлива (не только отходы деревообработки и уголь, но и дизельное топливо) по экономике использования. При этом необходимо учитывать не цену 1 тонны топлива, а на стоимость 1 кВт энергии, произведенного при использовании этого топлива (табл. 3) [11].

Таблица 3

Анализ цен на основные виды топлива

Вид топлива	Теплотворность, кВт·час/кг	КПД, %	Цена топлива, евро/тонна	Стоимость тепла, евро/кВт·час
Дизельное топливо	11,63	80	700	0,140
Уголь	4,65	50	45	0,019
Электричество		95		0,033
Отходы деревообработки	2,0	60	19	0,016
Пеллеты	4,8	85	90	0,022

При сжигании пеллет КПД достигает 85%, что соответствует уровню использования газа и жидкого топлива. Стоимость тепла при использовании пеллет может снизиться при возрастании КПД сжигания до 97%, что достигается при сжигании пеллет в котлах небольшой мощности с горелками объемного типа. Горелки объемного типа применяются и для сжигания малозольных отходов деревообработки (древесная щипа, опилки) влажностью до 40% и не применяются для высокзольных видов топлива (кора, зола), так как требуется более эффективная система удаления золы [12].

В связи со вступлением в силу Киотского протокола к Рамочной Конвенции ООН по Изменению Климата легитимным становится формат проектов Совместного Осуществления (ст. 6 Киотского протокола). Это означает, что при выборе топлива для автомобильных газогенераторных установок необходимо учитывать его экологическую безопасность. Одним из показателей экологической безопасности является объема золы, образовавшейся после сжигания топлива, согласно ООО "Ресайклерс.ру":

- при сжигании бурого угля образуются золы до 40% от веса сжигаемого топлива;
- при сжигании угля – около 20%;

– при сжигании древесины – 0,5-3%.

Очевидное преимущество при использовании в качестве топлива имеет древесина. При этом золу от сжигания древесного топлива возможно использовать как минеральное удобрение [15, 18], а шлаки от сжигания угля содержат тяжелые металлы и обладают хотя и слабой, но повышенной радиоактивностью.

Следующим показателем экологической безопасности является количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу при сжигании различных видов топлива (табл. 4).

Таблица 4

Выбросы вредных веществ при сжигании различных видов топлива (по данным ОАО "Промгаз")

Вид топлива	Твердые частицы (кг/Ткал)	Бензапирен (кг/Ткал)	Тяжелые металлы (10 ⁻⁶ кг/Ткал)
Газ	0,004-0,017	0,057-0,129	–
Мазут	0,2-0,4	0,046-0,69	1,1
Бурый уголь	0,26-26,0	0,160-0,67	–
Каменный уголь	8,7-12,3	0,07-0,44	0,96-64,0
Торф	3,8-11,4	1,0	0,8-3,1
Дрова	8,07	1,36-4,95	–

Выделение углекислого газа при сжигании больше, чем при использовании древесного топлива:

- газа – в 15 раз;
- дизельного топлива – в 20 раз;
- кокса – в 30 раз;
- угля – в 50 раз.

Тяжелые металлы – в данном случае это сумма содержания пятиоксида ванадия, мышьяка, хрома и ртути в газовых выбросах.

Приведенные данные показывают, что древесное топливо является экологически более чистым, чем уголь, причем предпочтение, по видимому, должно быть отдано установкам газификации.

Расчет основных параметров процесса газификации в зависимости от вида топлива, представленного в табл. 1, по элементам представлен согласно методики [5, 7] для бензинового 4-тактного двигателя УМЗ-4215.10 (EURO-0) в табл. 5 [19]. Рабочий объем – 2890 куб. см. Степень сжатия – 8,2. Коэффициент наполнения двигателя генераторным газом – 0,53. Частота вращения коленчатого вала – 2400 об/мин.

Таблица 5

Основные параметры процесса газификации

Параметр	Топливо				
	Отходы деревообработки	Пеллеты (первый сорт)	Промышленные пеллеты	Полукокс	Антрацит
Выхода газа из 1 кг топлива, м ³ /кг	1,84	2,579	2,566	4,059	4,299
Расход воздуха на газификацию 1 кг топлива, м ³ /кг	1,162	1,628	1,619	2,557	2,915
Влажности газа, кг/м ³	0,392	0,183	0,184	0,063	0,015
КПД газогенератора, %	78,7	83,9	83,9	66	81
Расход воздуха на сгорание 1 м ³ генераторного газа, м ³ /м ³	1,014	1,129	1,129	0,824	1,138
Теплотворность газоз-воздушной смеси, ккал/м ³	561,4	591,157	591,157	514,77	572,11
Часовой расход твердого топлива, кг/ч	27,372	18,48	18,578	13,73	11,038
Диаметр камеры газификации, мм	264,39	183,62	184,18	241,76	237,44

Антрацит на ряду с пеллетным топливом имеет хорошие показатели, однако процесс сжигания угля нельзя автоматизировать, газ содержит большое содержание соединений серы, необходимо утилизировать шлак.

Что касается калорийности различных видов древесины, то сравнительная диаграмма калорийности (теплоты сгорания) различных типов

древесного топлива по сравнению с пеллетами представлена на рис. 1.

На основании проведенного анализа очевидно, пеллетное топливо является наиболее оптимальным для создания автоматизированных газогенераторных установок, применяемых для промышленного транспорта, с минимальными размерами по высоте и массе.



Рис. 1. Сравнительная диаграмма калорийности (теплоты сгорания) различных типов древесного топлива по сравнению с пеллетами

Поскольку пеллеты изготавливаются из различного вида сырья, необходимо определить их влияние на показатели качества (табл. 6).

Таблица 6

Показатели качества пеллет, полученные из разных видов сырья по данным компаний ООО «ЭКОРОСС»

Показатели качества	Виды сырья		
	Древесные опилки		
	хвойных пород	мягко-лиственных пород	Смеси (50% хвой и 50% листа)
Плотность	1,147	1,141	1,144
Насыпная плотность, кг/дм ³	526	511	520
Зольность, %	0,5		
Теплотворная способность, МДж/кг	18,9	18	18,4
Истираемость	0,21	0,2	0,2
Влажность	8,5	8,5	8,3
Содержание SO и SCb в газах горения пеллет, %	0		
Однородность, отсутствие посторонних примесей	Посторонние примеси отсутствуют		

Из табл. 6 следует, что параметры качества пеллет, полученных из хвойных и мягко-лиственных пород древесины путем гранулирование опилок, практически не отличаются друг от друга. Поскольку содержание горючего компонента (С и Н) в древесине разных пород колеблется незначительно (в хвойных породах древесины содержится углерода 50,5%, в лиственных 49,6%, водорода одинаковое-6,2%), влияние пород древесины на теплотворную способность пеллет незначительно.

В связи с появлением на рынке низкосортных древесных гранул, изготовленных в основном за границей, с весны 2002 года гранулы в Германии получили новый сертификат DIN plus. Этот сертификат объединил немецкий и австрийский стандарты. Преимущество получило требование на истирание, а также правила и методика проверки. В табл. 7 представлен сравнительный анализ норм на пеллетное топливо Германии, Австрии и Швеции.

К существенным недостаткам топлива из древесины для газогенераторов, особенно пеллетного, является низкая теплопроводность из-за

большого содержания воздуха вследствие пористости и высокая гигроскопичность при длительном хранении под воздействием осадков.

Целесообразно модернизировать процесс получения древесного пеллетного топлива путем добавления полиэтиленовых отходов и запрессовки при температуре плавления полиэтилена и последующего охлаждения. Получаемая гранула пеллет имеет покрытие полиэтиленовой пленки, а часть воздуха внутри пеллет вытесняется полиэтиленом, что повысит влагостойкость при хранении и теплотворную способность при использовании в качестве топлива для автотракторных газогенераторов.

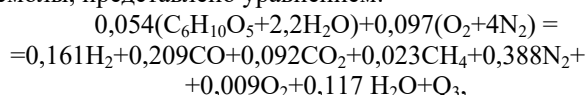
Рассмотрим газодизельный процесс при использовании древесного генераторного газа на 90% мощности двигателя и 10% мощности – на дизельном топливе при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,4$. На примере балансовых уравнений можно увидеть исходные и конечные состояния участвующих в реакциях компонентов.

Таблица 7

Сравнительный анализ норм на пеллетное топливо Германии, Австрии и Швеции

Показатели качества	Стандарты			
	Германия		Австрия	Швеция
	DIN 51 731	DIN plus	O-Norm M 7135	SS 18 71 20
Диаметр (мм)	4-10	менее 10	4-10	менее 25
Длина (мм)	менее 50	менее 5 × d	менее 5 × d	менее 5 × d
Плотность (кг/дм ³)	более 1,0-1,4	более 1,12	более 1,12	*
Влажность (%)	менее 12	менее 2,3	менее 10	менее 10
Насыпная масса (кг/м ³)	650	650	650	более 500
Брикетная пыль (%)	*	менее 0,5	менее 2,3	*
Зольность (%)	менее 1,5	менее 0,3	менее 0,5	менее 1,5
Теплота сгорания (МДж/кг)	17,5-19,5	более 18	более 18	более 16,9
Содержание серы (%)	менее 0,08	менее 0,04	менее 0,04	менее 0,08
Содержание азота (%)	менее 0,3	менее 0,8	менее 0,3	*
Содержание хлора (%)	менее 0,03	менее 0,02	менее 0,02	менее 0,03
Мышьяк (мг/кг)	менее 0,8	менее 0,5	*	*
Свинец (мг/кг)	менее 10	менее 10	*	*
Кадмий (мг/кг)	менее 0,5	менее 0,5	*	*
Хром (мг/кг)	менее 8	менее 8	*	*
Медь (мг/кг)	менее 5	менее 5	*	*
Ртуть (мг/кг)	менее 0,05	менее 0,05	*	*
Цинк (мг/кг)	менее 100	менее 100	*	*
Закрепитель (%)	*	менее 2	менее 2	

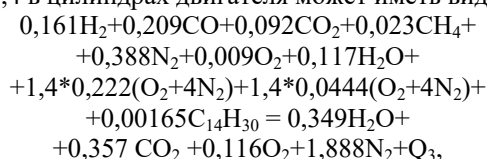
Балансовое уравнение ориентировочного состава генераторного газа, получаемого из древесины с первоначальной влажностью 10% и содержащего в 1 м³ – 97 г влаги, 3,5 г пыли, 0,5 г смолы, представлено уравнением:



где Q_3 – теплота, выделяемая в результате реакции получения генераторного газа из древесины.

После охлаждения и очистки генераторный газ в смеси с воздухом поступает в цилиндры двигателя и впрыском дизельного топлива поджигается.

Примерное уравнения сгорания топливно-воздушной смеси с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,4$ в цилиндрах двигателя может иметь вид:



где выделенная теплота может быть определена по формуле:

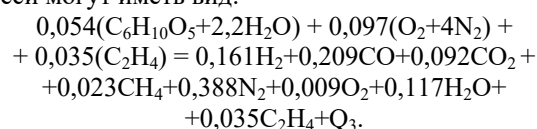
$$Q_3 = 3,8 * 1,2 * 0,222 * 112 = 113 \text{ МДж.}$$

Расчетная низшая теплота сгорания генераторного газа, полученного из древесины, может составлять:

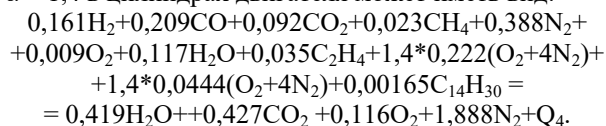
$$Q_{нтг} = Q_3 / V_{нтг} = 113 \text{ МДж} / 21 \text{ нм}^3 = 5,35 \text{ МДж} / \text{нм}^3.$$

В связи с этим для модернизированного автотракторного генератора предлагается использовать смесь из 90% древесных твердых бытовых отходов теплотворной способностью древесины 12,5 МДж/кг и 10% полиэтиленовых отходов теплотворной способностью 59 МДж/кг.

Тогда расчетные формулы получения генераторного газа из древесно-полиэтиленовой смеси могут иметь вид:



Примерное уравнения сгорания топливно-воздушной смеси с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,4$ в цилиндрах двигателя может иметь вид:



Выделенная теплота может быть определена по формуле:

$$Q_5 = 3,8 * 1,2 * 0,362 * 112 = 185 \text{ МДж.}$$

С учетом увеличенного объема выделенного генераторного газа на величину газа этилена $VC_2H_4 = 22,4 * 0,035 = 0,795 \text{ нм}^3$ следует ожидать повышение низшей теплоты сгорания генераторного газа, полученного из смеси древесины и полиэтиленовых отходов, до величины

$$Q_{нтг} = Q_5 / V_{нтг} = 185 \text{ МДж} / 21,795 \text{ нм}^3 = 8,5 \text{ МДж} / \text{нм}^3,$$

что превышает теплотворную способность генераторного газа, полученного из древесины в $K = Q_{нтг} / Q_{нтг} = 8,5 / 5,35 = 1,59$ раза.

Выводы. Установлено, что для автоматизированных автомобильных газогенераторных установок оптимальным топливом являются пеллеты первого сорта, с низким содержанием коры, диаметром 6 мм. Пеллеты первого класса по стоимости в 2-2,5 раза ниже стоимости бензина. Использование пеллетного

топлива дает возможность организовать бесперебойную подачу их из горизонтального отдельно расположенного от газификатора накопительного бункера шнековым транспортером в зону газификации топлива, что позволяет установкам малой мощности работать на одной загрузке сутками без разгерметизации газификатора и располагать газогенераторную установку под кузовом грузового автомобиля. Объем камеры газификации для пеллет соответственно меньше, чем у остальных видов топлива, а значит, и размеры всей газогенераторной установки уменьшаются в целом. При газификации пеллет КПД газогенератора составляет 85%, а при использовании горелок объемного типа КПД использования пеллет может возрасти до 97%. Применение пеллет, полученных из смеси древесных и полиэтиленовых отходов для газификации, позволяет увеличить теплотворную способность генераторного газа на 30-35% по сравнению с генераторным газом, полученным при газификации древесного топлива. Пеллеты являются экологически безопасным видом топлива.

Литература

1. Makarova I., Gubacheva L., Andreev A. Improving transport system environmental friendliness and energy efficiency due to using the gas generator as an alternative fuel. *Developments in eSys-tems Engineering (DeSE)*, 2019; 978-1-7281-3021-7/19/\$31.00 ©2019 IEEE. doi: 10.1109/DeSE.2019.00147.
2. Makarova I., Gubacheva L., Andreev A., Shevchenko D. Industry 4.0 in production and house-hold waste processing. *Developments in eSystems Engineering (DeSE)*, 2019; 978-1-7281-3021-7/19/\$31.00 ©2019 IEEE. doi: 10.1109/DeSE.2019.00148.
3. Гелетуа Г.Г., Железная Т.А. Обзор технологий газификации биомассы // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. – 1998. – № 2. – С. 21-29.
4. Самылин А.А. Автомобильный газогенератор – технология будущего // *ЛесПромИнформ*. – 2005. – № 7 (29). – С. 74-76.
5. Токарев Г.Г. Газогенераторные автомобили / Г.Г. Токарев / *Машгиз*, 1955. – 205 с.
6. Самылин А.А. Автомобильный газогенератор – технология будущего // *ЛесПромИнформ*. – 2005. – № 8 (30). – С. 80-84.
7. Юдушкин Н.Г. Генераторные тракторы / Н.Г. Юдушкин / Государственное научно-техническое издание машиностроительной литературы, 1955. – 242 с.
8. Овсянко А.Д. Справочник. Топливная гранула: Россия, Беларусь, Украина / А.Д. Овсянко / Санкт-Петербург, Биотопливный портал WOOD-PELLETS.COM, 2007. – 200 с.
9. Фомин А.П., Нешин Ю.И., Потапенко О.Г. Процессы получения окускованного топлива // *Химия твердого топлива*. – 2005. – № 1. – С. 36-43.
10. Комплексная переработка углей и повышение эффективности их использования: под общ. ред. В.М. Щадова // М.: НТК «Трек», 2007. – 292 с.
11. Технологические аспекты сжигания биотоплива // *Альтернативная энергетика*. – 2007. – № 1. – С. 17-21.

12. Obernberger J. Decentralized Biomass Combustion: State of the Art and Future Development // *Biomass and Bioenergy*. – 1998. – Vol. 3, № 1. – P. 33-56.

13. Suadicani K., Evald A., Jakobsen H.H. Wood Chips for Energy Production. *Technology-Environment-Economy*. Trojborg Bogtryk, Aarhus. – 1993. – 47 p.

14. Jorgensen U., Kristensen E.F. *European Energy Crops Overview. Country Report for Denmark*. Copenhagen: MAF, 1996. – 83 p.

15. A.V. Bridgwater. Thermal conversion of biomass and waste: the status. *Proc. of Conference "Gasification: the Clean Choice for Carbon Management"*, 8-10 April 2002, Noordwijk, the Netherlands, pp. 1-25.

16. Гелетуа Г.Г., Железная Т.А. Обзор технологий генерирования электроэнергии, полученной из биомассы при ее газификации // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. – 1998. – № 3. – С. 3-11.

17. Hasler Ph., Candinas T., Nussbaumer Th. Utilization of Ashes from the Combustion of Hay. *Miscanthus, Hemp, Straw and Wood as of the 10th Europ. Bioenergy Conf.* – P. 192-195.

18. Гелетуа Г.Г., Железная Т.А. Обзор современных технологий сжигания древесины с целью выработки тепла и электроэнергии Часть 1 // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. – 1999. – № 5. – С. 3-12.

19. ГАЗЕЛЬ 2705, 3302 и модификации с двигателями ЗМЗ-40524, УМЗ-4216 и Chrysler // *Мир Автокинг*, 2005. – 331 с.

References

1. Makarova I., Gubacheva L., Andreev A. Improving transport system environmental friendliness and energy efficiency due to using the gas generator as an alternative fuel. *Developments in eSys-tems Engineering (DeSE)*, 2019; 978-1-7281-3021-7/19/\$31.00 ©2019 IEEE. doi: 10.1109/DeSE.2019.00147.
2. Makarova I., Gubacheva L., Andreev A., Shevchenko D. Industry 4.0 in production and house-hold waste processing. *Developments in eSystems Engineering (DeSE)*, 2019; 978-1-7281-3021-7/19/\$31.00 ©2019 IEEE. doi: 10.1109/DeSE.2019.00148.
3. Geletuha G.G., Zheleznaia T.A. Obzor tehnologii gazifikacii biomassy // *Jekotehnologii i resursosberezhenie*. – 1998. – № 2. – P. 21-29.
4. Samylin A.A. Avtomobil'nyj gazogenerator – tehnologija budushhego // *LesPromInform*. – 2005. – № 7 (29). – P. 74-76.
5. Tokarev G.G. Gazogeneratornye avtomobili / G.G. Tokarev / *Mashgiz*, 1955. – 205 p.
6. Samylin A.A. Avtomobil'nyj gazogenerator – tehnologija budushhego // *LesPromInform*. – 2005. – № 8 (30). – P. 80-84.
7. Judushkin N.G. Generatornye traktory / N.G. Judushkin / *Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdanie mashinostroitel'noj literatury*, 1955. – 242 p.
8. Ovsjanko A.D. Spravochnik. Toplivnaja granula: Rossija, Belarus', Ukraina / A.D. Ovsjanko / *Sankt-Peterburg, Biotoplivnyj portal WOOD-PELLETS.COM*, 2007. – 200 p.
9. Fomin A.P., Neshin Ju.I., Potapenko O.G. Processy polucheniya okuskovannogo topliva // *Himija tverdogo topliva*. – 2005. – № 1. – P. 36-43.
10. Kompleksnaja pererabotka uglej i povyshenie jeffektivnosti ih ispol'zovanija: pod obshh. red. V.M. Shhadova // М.: НТК «Трек», 2007. – 292 p.
11. Tehnologicheskie aspekty szhiganiya biotopliva // *Al'ternativnaja jenergetika*. – 2007. – № 1. – P. 17-21.

12. Obernberger J. Decentralized Biomass Combustion: State of the Art and Future Development // Biomass and Bioenergy. – 1998. – Vol. 3, № 1. – P. 33-56.

13. Suadicani K., Evald A., Jakobsen N.N. Wood Chips for Energy Production. Technology-Environment-Economy. Trojborg Bogtryk, Aarhus. – 1993. – 47 p.

14. Jorgensen U., Kristensen E.F. European Energy Crops Overview. Country Report for Denmark. Copenhagen: MAF, 1996. – 83 p.

15. A.V. Bridgwater. Thermal conversion of biomass and waste: the status. Proc. of Conference "Gasification: the Clean Choice for Carbon Management", 8-10 April 2002, Noordwijk, the Netherlands, pp. 1-25.

16. Geletuha G.G., Zheleznaia T.A. Obzor tehnologij generirovaniia jelektroenergii, poluchennoi iz biomassy pri ee gazifikatsii // Jekotekhnologii i resursosberezhenie. – 1998. – № 3. – P. 3-11.

17. Hasler Rh., Candinas T., Nussbaumer Th. Utilization of Ashes from the Combustion of *Nau. Miscanthus*, *Nemr*, Straw and Wood as of the 10th Europ. Bioenergy Conf. – P. 192-195.

18. Geletuha G.G., Zheleznaia T.A. Obzor sovremennykh tehnologij szhiganiia drevesiny s cel'ju vyrabotki tepla i jelektroenergii Chast' 1 // Jekotekhnologii i resursosberezhenie. – 1999. – № 5. – P. 3-12.

19. GAZEL" 2705, 3302 i modifikatsii s dvigatel'jami ZMZ-40524, UMZ-4216 i Chrysler// Mir Avtoknig, 2005. – 331 p.

Andreev A.A., Chizhevskaya D.U.

RESOURCE-SAVING FUEL FOR TRACTOR GENERATORS

An overview of autotractor gas generators is made in order to obtain generator gas for internal combustion engines. The properties of various types of gas-generating fuels are considered and their comparative analysis is carried out. The approximate equivalent of different types of fuel by weight to gasoline and diesel fuel and an analysis of prices for the main types of fuel are presented. A comparative ecological analysis of various types of fuels has been carried out. The main

parameters of the gasification process are calculated depending on the type of fuel. A variant of the modernization of pellet fuel is proposed, and the substantiation of gas generation processes and the use of generator gas in gas diesels are presented. A comparative analysis of the standards for pellet fuel in Germany, Austria and Sweden is presented.

Key words: automobile gas generator, biofuel, pellets, gasification parameters.

Андреев Александр Александрович, к.т.н., доцент кафедры транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: tmtl_snu@mail.ru

Andreev Alexander, Candidate of Technical Sciences (Engineering), Associate Professor of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: tmtl_snu@mail.ru

Чижевская Дарья Юрьевна, старший преподаватель кафедры транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: shevchenkodu@mail.ru

Chizhevskaya Darya, Senior Lecturer of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: shevchenkodu@mail.ru

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, д.т.н., проф. кафедры транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 08.04.2021

УДК 621.43.08

МОДЕЛЬ ОДНОМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ ГАЗООБМЕНА В ТЕПЛОСИЛОВЫХ УСТАНОВКАХ

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

MODEL OF ONE-DIMENSIONAL GAS EXCHANGE PROCESSES IN THERMAL POWER PLANTS

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

Предложен подход к моделированию процессов в продувочных объемах, позволяющий существенно уточнить картину изменения параметров рабочего тела в одномерном представлении для широкого класса теплосиловых установок. Приняты допущения об отсутствии сил трения, механическом равновесии в продувочном объеме и подчинении свойств рабочего тела уравнению идеального газа. Изменение термодинамических параметров в элементарном расчетном объеме рассматривается как результат одновременного воздействия на рабочее тело: подведенной извне теплоты, работы проталкивания условных границ между смежными объемами, разбавления рабочим телом, поступающим со стороны смежных объемов.

Ключевые слова: продувочный объем, тепломассообмен, работа деформации.

Введение. Важной составляющей моделирования рабочего процесса теплосиловых установок является численное описание процесса тепломассообмена в продувочных объемах, в качестве которых обычно рассматриваются камеры сгорания и выпускные коллекторы поршневых и газотурбинных установок, проточные элементы компрессора теплового сжатия и др.

Реальное течение газов в продувочном объеме носит весьма сложный пространственный нестационарный характер и в общем случае описывается трехмерными уравнениями газовой динамики в частных производных, выражающими законы сохранения массы, количества движения и энергии. Интегрирование этих уравнений, включающее постановку начальных и граничных условий применительно к конкретной конструкции установки, с учетом переменных во времени и пространстве коэффициентов диссипации и теплообмена, представляет собой чрезвычайно сложную задачу, неразрешимую на данном этапе развития механики сплошной среды [1]. Поэтому на практике прибегают к упрощениям как формы записи уравнений, так и способов их решения, как

правило, рассматривая процесс в сосредоточенных объемах как квазистационарный.

Известные методы квазистационарного расчета основаны на гипотезе о мгновенном перемешивании или послойном вытеснении [2, 3, 4]. Следует отметить, что даже комбинация этих гипотез, в лучшем случае, позволяет рассмотреть движение границы раздела двух зон с усредненными параметрами в каждой из них. Такое представление существенно искажает потоковые субстанции термодинамических параметров, что обуславливает неадекватность оценки действительного теплоперепада, например, в выпускных коллекторах комбинированных двигателей. Кроме того, отсутствие информации о распределении температуры по продувочному объему исключает возможность косвенного определения состава газов как в отдельных зонах камер сгорания, так и в выпускных коллекторах.

Цель статьи – попытка уточнить картину распределения температуры в продувочном объеме в одномерной постановке. Основные положения методики базируются на допущениях об отсутствии сил трения, механическом равновесии в продувочном объеме и подчинении свойств рабочего тела уравнению идеального газа.

Материалы и результаты исследования. Продувочный объем условно разбивается неподвижной сеткой на равные элементарные расчетные объемы, величина которого выбирается из условия полного растворения в нем рабочего тела, поступившего за период временного расчетного шага из смежного объема (рис. 1). Все элементарные расчетные объемы рассматриваются как закрытые термодинамические системы (объемы фиксированных масс), кроме крайних, являющихся открытыми термодинамическими системами.

Изменение термодинамических параметров в элементарном расчетном объеме в общем случае рассматривается как результат одновременного воздействия на рабочее тело, первоначально содержащееся в этом объеме, трех факторов:

подведенной извне теплоты, работы проталкивания условных границ между смежными объемами, разбавления рабочим телом, поступающим со стороны смежных объемов. Следует иметь в виду, что работа деформации элементарного объема эквивалентна сумме работ проталкивания условных границ раздела со стороны смежных объемов:

$$L_{\text{деф}i} = L_{\text{пр}i-1} + L_{\text{пр}i+1}.$$

При допущении о несущественном отличии показателя политропы сжатия для различных элементарных слоев, работа деформации отдельного слоя представляет собой часть общей работы проталкивания рабочего тела всего продувочного объема, соответствующую относительной объемной доле расчетного элемента.

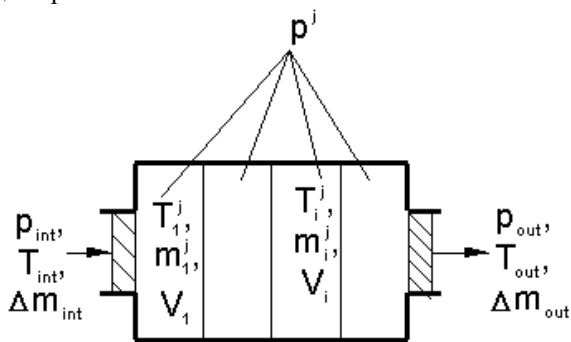


Рис. 1. Расчетная схема продувочного объема к началу расчетного шага

Действительно, суммарная работа проталкивания рабочего тела всего продувочного объема затрачивается на сжатие рабочих тел, содержащихся в элементарных расчетных объемах

$$dL_{\text{пр}\Sigma} = \sum_{i=1}^z \frac{n_i \cdot R}{n_i - 1} \cdot T_i \cdot m_i \cdot \left(\pi_k^{\frac{n_i-1}{n_i}} - 1 \right). \quad (1)$$

Принимая во внимание, что для равных элементарных объемов с одинаковым давлением $T_i \cdot m_i = \text{const}$, получим:

$$dL_{\text{деф}i} = \frac{V_i}{V_{\Sigma}} \cdot dL_{\text{пр}\Sigma}. \quad (2)$$

В соответствии с первым законом термодинамики для открытой системы изменение параметров в крайнем со стороны поступления рабочего тела расчетном объеме описывается уравнением:

$$dU_1 = (C_p T_{\text{int}} + \frac{\omega^2}{2}) dm_{\text{int}} + dL_{\text{деф}1} + dQ_w, \quad (3)$$

где dU – внутренняя энергия рабочего тела; C_v – удельная мольная изохорная теплоемкость газа;

$\frac{\omega^2}{2}$ – кинетическая энергия потока в минимальном поперечном сечении впускного (выпускного) окна; dm_{int} – поступившая в продувочный объем масса рабочего тела; dQ_w – тепловой поток при теплообмене между рабочим телом и стенками продувочного объема; T_{int} – температура вошедшего газа; $dL_{\text{деф}i}$ – работа деформации элементарного расчетного объема.

Для случая $C_v = \text{const}$ имеем:

$$dT_1 = \frac{(C_p T_{\text{int}} + \frac{\omega^2}{2}) dm_{\text{int}} + dQ_w + dL_{\text{деф}1} - C_v T dm_{\text{int}}}{C_v m}, \quad (4)$$

где m – первоначальная масса газа в ячейке; T – первоначальная температура газа в элементарном расчетном объеме; dT_1 – изменение температуры в первом элементарном расчетном объеме.

Для внутренних расчетных элементов расчет термодинамических параметров на каждом расчетном шаге осуществляется в два этапа. На первом этапе параметры во внутренних объемах изменяются под воздействием подведенной теплоты и работы деформации. Тогда изменение температуры во внутренних ячейках определяется из уравнения:

$$dT_i = \frac{dQ_w + dL_{\text{деф}i}}{C_v \cdot m}. \quad (5)$$

Изменение термодинамических параметров рабочих тел, первоначально содержащихся в элементарных расчетных объемах, приводит к деформации этих тел и смещению границ расчетных объемов относительно узлов неподвижной сетки. Суммарная деформация каждого внутреннего расчетного элемента, обусловленная перемещением правой и левой условных границ, вызывает изменение давления в продувочном объеме в конце первого этапа расчетного шага, которое может быть определено путем совместного решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} p^{j+\frac{1}{2}} = \frac{m_1^{j+\frac{1}{2}} \cdot R_r \cdot T_1^{j+\frac{1}{2}}}{x_1^{j+\frac{1}{2}} \cdot f_1}; \\ \dots\dots\dots; \\ p^{j+\frac{1}{2}} = \frac{m_i^{j+\frac{1}{2}} \cdot R_r \cdot T_i^{j+\frac{1}{2}}}{x_i^{j+\frac{1}{2}} \cdot f_i}; \\ p^{j+\frac{1}{2}} = \frac{m_z^{j+\frac{1}{2}} \cdot R_r \cdot T_z^{j+\frac{1}{2}}}{x_z^{j+\frac{1}{2}} \cdot f_z}; \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1^{j+\frac{1}{2}} \cdot f_1 = x_1^j \cdot f_1 + \Delta x_1^{j+\frac{1}{2}} \cdot f_1 ; \\ \dots\dots\dots ; \\ x_i^{j+\frac{1}{2}} \cdot f_i = x_i^j \cdot f_i - \Delta x_{i-1}^{j+\frac{1}{2}} \cdot f_{i-1} + \Delta x_i^{j+\frac{1}{2}} \cdot f_i ; \\ x_z^{j+\frac{1}{2}} \cdot f_z = x_z^j \cdot f_z + \Delta x_{z-1}^{j+\frac{1}{2}} \cdot f_{z-1} ; \end{array} \right. \quad (6)$$

где p – давление в продувочном объеме; R_{Γ} – газовая постоянная; $x_i^{j+\frac{1}{2}} \cdot f_i$ – объем расчетного элемента; $\Delta x_i^{j+\frac{1}{2}}$ – смещение условных границ элементарного объема; j – временной расчетный шаг ($1/2$ указывает на первый этап).

Таким образом, в конце первого этапа расчетного шага в каждом расчетном элементе, ограниченном узлами сетки, в общем случае может содержаться два различных температурных слоя (зоны I и II, рис. 2).

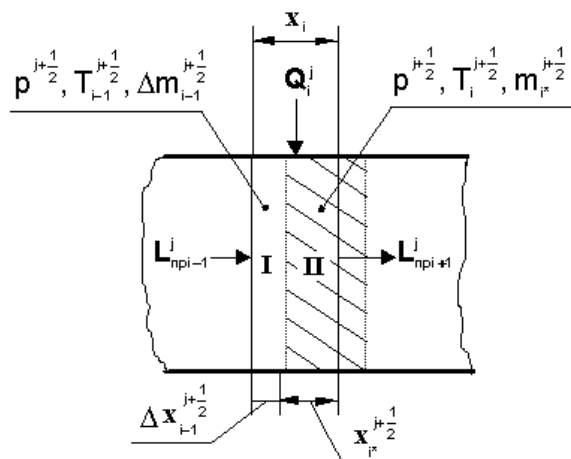


Рис. 2. Расчетная схема элементарного объема в конце первого этапа расчетного шага

К началу второго расчетного шага распределение термодинамических параметров в продувочном объеме определяется путем усреднения в пределах каждого расчетного объема:

$$m_z^{j+1} = \Delta m_{z-1}^{j+\frac{1}{2}} + m_{z*}^{j+\frac{1}{2}} ;$$

$$T_z^{j+1} = \frac{\Delta m_{z-1}^{j+\frac{1}{2}} \cdot T_{z-1}^{j+\frac{1}{2}} + m_{z*}^{j+\frac{1}{2}} \cdot T_z^{j+\frac{1}{2}}}{m_z^{j+1}} ,$$

где $\Delta m_{z-1}^{j+\frac{1}{2}}$ – масса газа находящаяся в объеме $\Delta x_{z-1}^{j+\frac{1}{2}} f_z$; $m_{z*}^{j+\frac{1}{2}}$ – масса газа, оставшаяся в объеме

$x_{z*}^{j+\frac{1}{2}} f_z$. Реальный характер изменения температуры в продувочном объеме с достаточной точностью описывается предложенной методикой, в то время как использование традиционных подходов к определению термодинамических параметров вносит значительную погрешность.

Выводы. Предложенный подход к моделированию процессов в продувочных объемах позволяет существенно уточнить картину изменения параметров рабочего тела в одномерном представлении для широкого класса теплосиловых установок по сравнению с известными методиками процессов теплообмена.

Л и т е р а т у р а

1. Крайнюк А.И., Сторчеус Ю.В. Системы газодинамического наддува. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 2000. – 224 с.
2. Глаголев Н.М. Рабочие процессы двигателей внутреннего сгорания. – Киев-М.: Mashgiz, 1950. – 480 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
4. Теория двигателей внутреннего сгорания / Под ред. Н.Х. Дьяченко. – Л.: Машиностроение, 1974. – 552 с.

References

1. Krajnjuk A.I., Storcheus Ju.V. Sistemy gazodinamičeskogo nadduva. – Lugansk: Izd-vo VUGU, 2000. – 224 p.
2. Glagolev N.M. Rabochie processy dvigatelej vnutrennego sgoranija. – Kiev-M.: Mashgiz, 1950. – 480 p.
3. Dvigateli vnutrennego sgoranija: Teorija porshnevyyh i kombinirovannyh dvigatelej / Pod red. A.S. Orlina. – M.: Mashinostroenie, 1983. – 372 p.
4. Teorija dvigatelej vnutrennego sgoranija / Pod red. N.H. D'jachenko. – L.: Mashinostroenie, 1974. – 552 p.

Bryantsev M.A., Danileychenko A.A., Dotsenko D.M. MODEL OF ONE-DIMENSIONAL GAS EXCHANGE PROCESSES IN THERMAL POWER PLANTS

An approach to modeling processes in blowing volumes is proposed, which makes it possible to significantly clarify the picture of changes in the parameters of the working fluid in a one-dimensional representation for a wide class of heat-power plants in comparison with the known methods of heat and mass transfer processes. The main provisions of the method are based on the assumptions about the absence of friction forces, mechanical equilibrium in the blowdown volume and the subordination of the properties of the working fluid to the ideal gas equation. A change in thermodynamic parameters in an elementary design volume is considered as a result of the simultaneous action on the working fluid initially contained in this volume of three factors: heat supplied from the outside, the work of pushing the conditional boundaries between adjacent volumes, dilution by the working fluid coming from the side adjacent volumes.

Key words: blowing volume, heat and mass transfer, deformation work.

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

E-mail: 280376@rambler.ru

Bryantsev Maksim, senior lecturer of the «Internal combustion engines» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: 280376@rambler.ru

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

E-mail: 280376@rambler.ru

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

E-mail: 280376@rambler.ru

Доценко Данил Михайлович, старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: 280376@rambler.ru

Dotsenko Danil, senior lecturer of the «Internal combustion engines» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: 280376@rambler.ru

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, д-р. техн. наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 19.03.2021

УДК 615.58

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ АНТИКРИЗИСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Быкадоров В.В., Коструб О.М.

DEVELOPMENT OF ANTI-CRISIS MANAGEMENT MEASURES FOR TRANSPORT ENTERPRISES

Bykadorov V.V., Kostrub O.M.

В статье проведен анализ антикризисного управления транспортным предприятием. Определены превентивные мероприятия для предотвращения кризисных явлений. Разработаны методы борьбы с кризисными проявлениями путем формирования системы антикризисного управления на уровне хозяйствующего субъекта.

Ключевые слова: транспортное предприятие, система антикризисного управления, антикризисные мероприятия.

Введение. В настоящее время, характеризующееся расширением мирового кризиса, транспортным предприятиям приходится работать в неустойчивых и нестабильных экономических условиях хозяйствования. В их финансовой и хозяйственной деятельности возникают дестабилизирующие проблемы, обусловленные как внутренними, так и внешними факторами.

Одним из путей выживания в условиях кризиса является формирование для предприятий транспортной отрасли антикризисной политики, направленной на их адаптацию к рыночным условиям. Обеспечение антикризисной деятельности на постоянной основе позволяет сформировать эффективную подсистему управления транспортным предприятием в кризисных ситуациях.

Антикризисное управление предприятиями в рыночных условиях для экономики страны обусловлено трансформационными процессами и необходимостью финансового оздоровления многих транспортных предприятий, осуществляющих свою деятельность в сложных экономических условиях, характеризующихся циклическими финансовыми кризисами, нестабильной политической и экономической ситуацией в государстве. Поэтому предприятиям требуется опыт, который они зачастую не имели до настоящего времени.

В кризисных ситуациях нередко применяют подходы и методы, характерные для опыта еще советского периода, что приводит к потере времени,

в течение которого кризис успевает развиваться и привести к банкротству предприятия. В связи с этим, в рыночных условиях хозяйствования особое значение приобретает определение момента наступления кризиса и разработка методов предотвращения и борьбы с кризисными проявлениями путем формирования системы антикризисного управления транспортными предприятиями.

Цель исследования. Целью статьи является определение превентивных мероприятий антикризисного управления транспортными предприятиями.

Изложение основного материала. В условиях мирового финансового кризиса, роста неплатежеспособности и других экономических проблем антикризисное управление, ориентированное как на предотвращение проблем, так и на их преодоление, становится необходимым для эффективной деятельности транспортных предприятий [4].

Возникновение кризисного состояния транспортного предприятия является следствием постепенной разбалансировки и полной потери дееспособности внутреннего механизма саморегуляции хозяйственной системы. Преодоление кризиса не может осуществляться автоматически, оно должно быть организовано органом управления транспортного предприятия.

Антикризисное управление транспортным предприятием – это система управления, которая направлена на выявление признаков кризисного состояния и создание соответствующих условий для его своевременного преодоления с целью восстановления нормального функционирования транспортного предприятия, полного устранения временных осложнений и недопущения возникновения ситуации его банкротства.

Главной задачей антикризисного управления транспортным предприятием является предвидение, своевременное распознавание и успешное решение всех проблем, связанных с объективным

циклическим развитием и субъективными факторами на предприятии [3].

Комплекс превентивных мероприятий по предотвращению кризисных ситуаций необходимо определять из системы кризисных явлений на макро- и микроуровнях [1]. Классификация кризисных явлений на уровне транспортных предприятий позволяет выделить следующие типы кризисов: стратегический кризис, кризис результатов и кризис ликвидности.

Так, стратегический кризис предприятий транспорта характеризуется такими чертами, как снижение темпов роста перевозок, уменьшение доходов от перевозок и непрофильной деятельности, ухудшение взаимоотношений с экономическими агентами, потеря предприятием конкурентных преимуществ. Если в этих условиях не инициируется разработка превентивных антикризисных мероприятий (например, диверсификация или перепрофилирование деятельности, выход на новые рынки), предприятие может потерять возможность получать стабильную прибыль, что в перспективе ведет к убыточности и развитию кризиса результатов.

Кризис результатов характеризуется снижением показателей рентабельности, убытками по текущим операциям, недостатком собственных оборотных средств и обесцениванием акций. В подобном состоянии предприятие понесет убытки и будет вынуждено направить часть оборотных средств на их погашение и, как следствие, перейдет к режиму сокращенного производства. В этом случае кризис угрожает дальнейшему существованию транспортного предприятия и нуждается в немедленном проведении финансовой санации.

Кризис ликвидности характеризуется неплатежеспособностью транспортного предприятия. Индикаторами этого типа кризиса можно считать низкие значения коэффициента ликвидности, недостаток средств, слабую обеспеченность собственными оборотными средствами, неоправданный рост отношения долговых обязательств к общей сумме активов. Кризис неплатежеспособности можно рассматривать как реальную угрозу остановки предприятия и дальнейшего банкротства [5].

Основными направлениями антикризисного управления на уровне хозяйствующего субъекта считаются постоянный мониторинг финансово-экономического состояния транспортного предприятия, разработка новой управленческой, финансовой и маркетинговой стратегий, сокращение постоянных и переменных расходов, повышение производительности труда, привлечение средств учредителей, усиление мотивации персонала [2].

Антикризисная политика будет эффективной при проведении следующих финансово-экономических и организационных условий:

– глубокий причинный анализ ситуации;

– последовательное внедрение мероприятий по усовершенствованию культуры управления транспортным предприятием на оперативном и стратегическом уровнях;

– привлечение работников к управлению кризисом на всех этапах для обеспечения сотрудничества и заинтересованности;

– рациональное использование страховых фондов преодоления кризисной ситуации.

Наиболее актуальными антикризисными мероприятиями являются:

– сокращение расходов;

– горизонтальная и вертикальная интеграция;

– анализ возможностей передачи на аутсорсинг дорогих процессов;

– ужесточение контроля за всеми видами альтернативных расходов;

– пересмотр организационной структуры на предмет исключения лишних уровней управления;

– оптимизация технологических процессов;

– оптимизация налогообложения;

– ужесточение кадровой политики;

– обеспечение положительного чистого денежного потока.

Перечень мероприятий по улучшению финансового положения является индивидуальным для каждого из предприятий и зависит от сферы, в которой ведется бизнес, групп продукции, конъюнктуры рынка, региональной инфраструктуры, системы управления, структуры расходов на производство и правление, технико-технологических особенностей и других факторов.

Для того чтобы все вышеперечисленные мероприятия управления в кризисных ситуациях были введены в действие и при этом были получены необходимые результаты в сжатые сроки и с минимальными потерями, необходимо: улучшить качество информации; повысить способность быстроты реакции благодаря предугадыванию кризисной ситуации; осуществлять стратегическое планирование; рационально формировать бюджет компании; повысить качество групповых решений; организовать менеджеров в группы по преодолению кризиса; проводить превентивные мероприятия кризисных ситуаций по следующим направлениям: финансово-хозяйственная деятельность, культура управления, инновационная активность, мониторинг внешней и внутренней среды, критерии принятия решений.

Выводы. Проведенные исследования позволили выявить основные типы проявления кризиса на транспортных предприятиях и предложить мероприятия для предупреждения или смягчения кризисных явлений. При этом именно формирование антикризисного управления транспортными предприятиями, направленного на их выживание и рыночную адаптацию, становится наиболее важным, позволяющим эффективно решать задачи управления транспортными

предприятиями в условиях глобальных преобразований.

Л и т е р а т у р а

1. Абрютин М.С. Анализ финансово-хозяйственной деятельности организации: учебное пособие / М.С. Абрютин, А.В. Грачев. – М.: ДИС, 2017. – 416 с.
2. Гончаров В.И. Менеджмент: учебное пособие / В.И. Гончаров. – Минск: Современная школа, 2016. – 635 с.
3. Дафт Ричард Л. Менеджмент: [перевод с английского] / Л. Дафт. – Санкт-Петербург: Питер; Питер Пресс, 2017. – 863 с.
4. Кутукова Е.С. Экономическая безопасность в призме современных экономических процессов / Е.С. Кутукова. – М.: Русайнс, 2017. – 352 с.
5. Мазурин Э.Б. Экономика, организация и управление предприятием: учебник / Э.Б. Мазурин. – М.: Academia, 2019. – 253 с.

R e f e r e n c e s

1. Abryutina M.S. Analysis of the financial and economic activities of the organization: a textbook / M.S. Abryutina, A.V. Grachev. – M.: DIS, 2017. – 416 p.
2. Goncharov V.I. Management: a textbook / V.I. Goncharov. – Minsk: Modern School, 2016. – 635 p.
3. Daft Richard L. Management: [translated from English] / L. Daft. – St. Petersburg: Peter; Peter Press, 2017. – 863 p.
4. Kutukova E.S. Economic security in the prism of modern economic processes / E.S. Kutukova. – M.: Rusains, 2017. – 352 p.
5. Mazurin E.B. Economics, organization and enterprise management: textbook / E.B. Mazurin. – M.: Academia, 2019. – 253 p.

Bykadorov V.V., Kostrub O.M.
DEVELOPMENT OF ANTI-CRISIS MANAGEMENT MEASURES FOR TRANSPORT ENTERPRISES

The article analyzes the anti-crisis management of a transport enterprise. Preventive measures for the prevention of crisis phenomena are defined. Methods of combating crisis manifestations by forming a system of anti-crisis management at the level of an economic entity have been developed.

Key words: transport enterprise, anti-crisis management system, anti-crisis measures.

Быкадоров Вадим Викторович, к.т.н., доцент, директор Института транспорта и логистики, заведующий кафедрой «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: 311transport@gmail.com

Bykadorov Vadim, candidate of technical sciences, associate professor, director of the Institute of transport and logistics, head of the department «Railway transport», Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».
E-mail: 311transport@gmail.com

Коструб Ольга Михайловна, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: okostrub82@bk.ru

Kostrub Olga, senior lecturer of the «Railway transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».
E-mail: okostrub82@bk.ru

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 20.04.2021

УДК 621.926

УТОЧНЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ТИПОВ ДРОБИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Власенко Д.А., Левченко Э.П.

REFINED CLASSIFICATION OF INDIVIDUAL TYPES OF CRUSHING EQUIPMENT FOR FERROUS METALLURGY ENTERPRISES

Vlasenko D.A., Levchenko E.P.

Предложена уточненная классификация дробильных машин, применяемых на предприятиях черной металлургии для фракционной подготовки различного сырья и готовой продукции. Рассмотрены и систематизированы по разновидностям различные конструкции молотковых, валковых, щековых дробилок. На основании анализа конструктивных и технологических различий современных валковых и зубчатых роторных дробилок предложены уточнения в классификации дробильно-измельчительных машин, согласно которым данные дробилки рассматриваются в качестве отдельных типов. Рассмотрены и распределены согласно группам подобия и различия основные конструкции зубчатых роторных дробилок.

Ключевые слова: дробильно-измельчительные машины, молотковая дробилка, валковая дробилка, однороторная зубчатая дробилка, щековая дробилка, классификация.

Введение. Дробильно-измельчительные процессы весьма распространены и встречаются фактически в каждой отрасли народного хозяйства [1, 2]. В металлургической промышленности широкое распространение получили процессы дробления различных каменно-рудных материалов и готовой продукции. Учитывая, что железо и его сплавы составляют свыше 90 % общемирового выпуска металлов, снижение затрат на их производство обеспечивает уменьшение себестоимости продукции большинства отраслей производственной деятельности: горнодобывающей, металлургической, химической, машиностроительной, нефтегазовой и т.д. При этом темпы развития металлургических предприятий и других смежных с ними отраслей промышленности требуют совершенствования конструкции, повышения эффективности, надежности, безотказности и работоспособности основного технологического оборудования, в том числе и для дробления различных видов сырья и готовой продукции [3].

Однако процессы дробления являются весьма энергоемкими и сопряжены с большой потерей

металла из-за интенсивного износа рабочих органов в процессе эксплуатации. Кроме того, особо остро стоит проблема снижения энергоемкости процессов, существенно сказывающихся на себестоимости готовой продукции, а также повышения качества и увеличения рентабельности производства готовой продукции. Решение данных проблем может быть реализовано путем широкого внедрения новой техники или, что более актуально в производственных условиях предприятий черной металлургии, повышения эффективности действующего технологического оборудования за счет модернизации и усовершенствования конструкции машин, их отдельных узлов или органов, а также использования рациональных параметров при реализации процессов дробления в условиях фракционной подготовки сырья на основе использования глубоких знаний, систематизации и понимания как принципа действия и конструкции машин, их узлов и механизмов, так и особенностей их эксплуатации в различных производственных условиях. Задачей данной аналитической работы является уточнение и развитие классификации основных типов дробильных машин, применяемых на предприятиях черной металлургии для фракционной подготовки различного сырья и готовой продукции.

Изложение основных материалов. В металлургии черных металлов процессы дробления используются в основном в агломерационном и доменном производстве при фракционной подготовке как сырьевых компонентов (каменного угля, кокса, известняка, доломита), так и готовой продукции (железрудного агломерата, доменного шлака и т.д.), обладающих различными физико-механическими параметрами [3-5].

При этом наибольшее распространение получили следующие типы дробильных машин: щековые, валковые, молотковые, а также зубчатые роторные, которые необходимо выделять как отдельный класс дробилок [6], ибо механизм разрушения материалов в них носит совершенно

иной характер [6, 7]. Так, в валковых дробилках (к классу которых в общепринятой классической классификации дробильного оборудования относят длиннозубчатые роторные дробилки [1-3], что, по мнению авторов, является в корне неверным) процесс разрушения материала протекает при раздавливании куска дробимого материала между поверхностями вращающихся навстречу друг другу валков. При этом в роторных машинах с рабочими органами зубчатого типа (звездочками) роль раздавливания материала в рабочем пространстве дробилки сведена к минимуму за счет реализации условий преимущественного разрушения материала срезом (изломом) или разламыванием куска дробимого материала о неподвижные опоры приемного стола или колосников.

В каждом из представленных классов дробильных машин реализуется определенное сочетание способов механического разрушения материалов:

- молотковые дробилки – свободный удар молотков о кусок материала, удар куска о неподвижную преграду, раздавливание и истирание материала о колосниковую решетку;

- валковые дробилки – раздавливание материала вращающимися валками, истирание материала о поверхность вала;

- зубчатые роторные дробилки – раздавливание и излом материала лопастями ротора о приемный стол и колосники;

- щелевые дробилки – раздавливание материала между подвижной и неподвижной щек.

На основании ранее сказанного предлагается уточненная классификация дробильного оборудования вышеперечисленных классов дробилок.

Молотковые роторные дробильные машины разделяют на три основных вида:

- открытого типа – материал не совершает оборот в дробильной камере и измельчается только за счет удара, при этом в дробилке отсутствует колосниковая решетка;

- закрытого типа – материал циркулирует в рабочей камере дробилки, в корпусе установлены бронеовые плиты и регулируемая колосниковая решетка, позволяющие получать продукцию с требуемой степенью измельчения;

- комбинированного типа – материал циркулирует в рабочем пространстве, конструкция и принцип действия аналогичны дробилкам закрытого типа, однако материал выгружается через отверстия колосниковой решетки и частично через выпускное отверстие, оборудованное специальным устройством – шиббером.

По конструктивным и технико-технологическим особенностям, количеству, расположению роторов, а также реализации изменения направления вращения двигателя (наличию возможности реверса) ударные молотковые дробилки закрытого и

комбинированного типа с колосниковой решеткой бывают (рис. 1):

- однороторная неререверсивная (а);
- двухроторная ступенчатая (двухступенчатое последовательное дробление) (б);
- однороторная реверсивная (в);
- двухроторная одноступенчатая (с расположением роторов в один ряд – одноступенчатое дробление) (г).

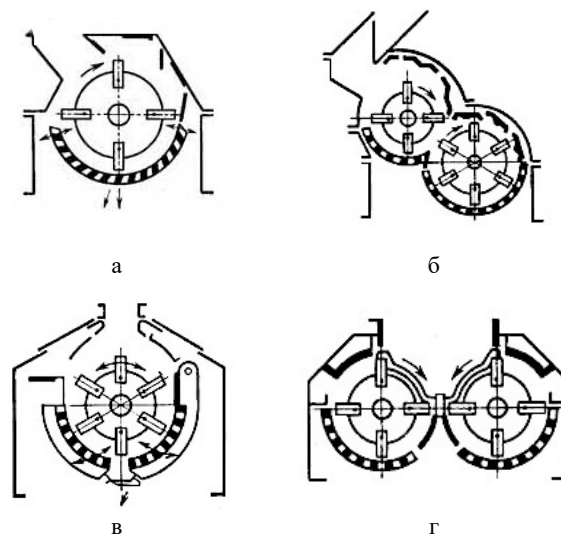


Рис. 1. Основные типы молотковых дробилок

Приводы молотковых дробилок существуют двух разновидностей: с передачей крутящего момента от двигателя с помощью клиноременной передачи (рис. 2, а) или напрямую через муфты крутящего момента (рис. 2, б).

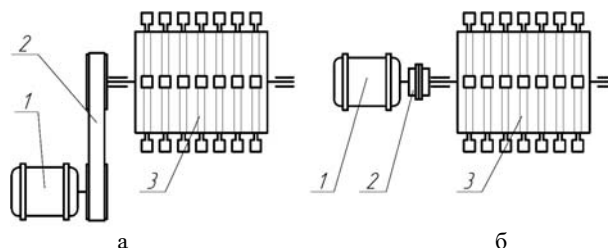


Рис. 2. Типы приводов молотковых дробилок

Также молотковые дробилки различают по конструкции основных рабочих органов – роторов:

- по числу продольных рядов молотков на оси подвеса (число молотков при взгляде с торца ротора – три, четыре, пять, шесть, восемь);

- по расположению молотков одного ряда относительно другого (кольцевое, шахматное, с перекрытием зазоров);

- по форме дисков (круглые, фигурные, утолщенные с нишами).

Расположение молотков на роторе характеризуется положением одного ряда молотков относительно молотков других рядов. При

кольцевом расположении молотки каждого ряда размещены вслед друг за другом по окружности движения и при вращении образуют отдельные кольцевые рабочие зоны (рис. 3, а). Кольцевое расположение широко используют для роторов различных конструкций как наиболее простое, а для дробилок некоторых типов оно является единственно возможным.

Однако в некоторых случаях при использовании дробилки с неполной нагрузкой часть молотков в рядах через один или через два снимаются. Причем в одном ряду снимаются все четные молотки, а в следующем – все нечетные. Такое расположение называют расположением молотков в шахматном порядке (рис. 3, б, в).

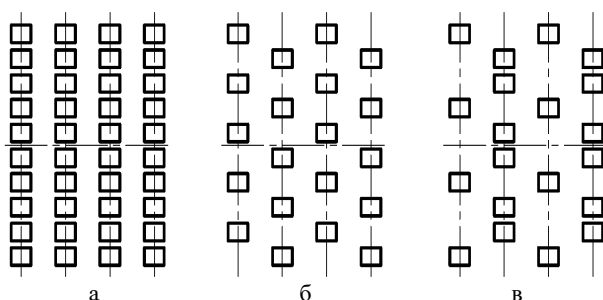


Рис. 3. Основные схемы расположения молотков на оси подвеса ротора дробилки

Молотки молотковых дробилок классифицируются по следующим признакам: по форме и количеству ударных рабочих поверхностей (рис. 4), а также по способу подвеса на оси ротора (рис. 5).

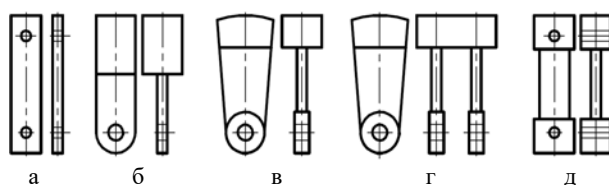


Рис. 4. Типы молотков по конструкции

Молотки колосникового типа (рис. 4, а) при износе обеих сторон с одного конца обладают возможностью переустановки в другое положение.

Молотки бандажного типа (рис. 4, б, в) имеют утолщения на рабочем конце (для увеличения массы, радиуса инерции и, соответственно, кинетической энергии удара одного молотка).

Скобообразные молотки (рис. 4, г) рекомендуются использовать для дробления высокопрочных материалов, они являются более эффективными, однако эксплуатация дробилок с билами такой формы усложняет балансировку ротора в процессе эксплуатации при неравномерном износе рабочих органов.

Молотки с четырьмя рабочими поверхностями позволяют произвести перестановку молотков

на второе отверстие и увеличить срок службы (рис. 4, а, д).

По способу подвеса на оси подвеса ротора молотки бывают:

- с шарнирной установкой на оси и роторе (рис. 5, а);
- с жестко закрепленными молотками на оси подвеса (роторного типа) (рис. 5, б);
- с комбинированным способом установки молотков на оси подвеса и роторе (рис. 5, а, б) [8-10].

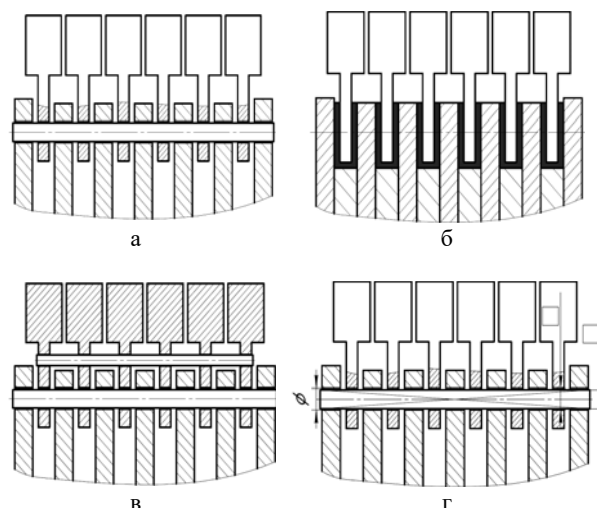


Рис. 5. Молотки с шарнирным (а), неподвижным (б) и комбинированным (в, г) способом установки молотков

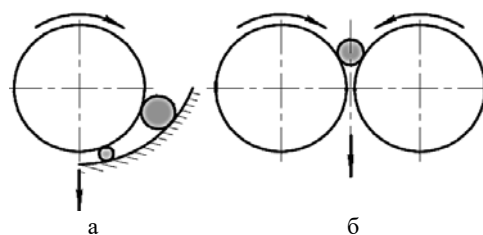
Колосниковые решетки молотковых дробилок предназначены для окончательного формирования зернового состава продукта дробления по максимальной крупности.

Колосниковые решетки молотковых дробилок классифицируют:

- по конструкции: наборные колосники; цельные плиты; листовое сито;
- по конструкции крепления к корпусу – регулируемые и нерегулируемые;
- по степени перекрытия разгрузочного отверстия – замкнутые и открытые.

Валковые дробилки можно разделить на виды согласно множеству критериев.

По количеству рабочих органов они делятся на одновалковые (а), двухвалковые (б), трехвалковые (в) и четырехвалковые (г) (рис. 6).



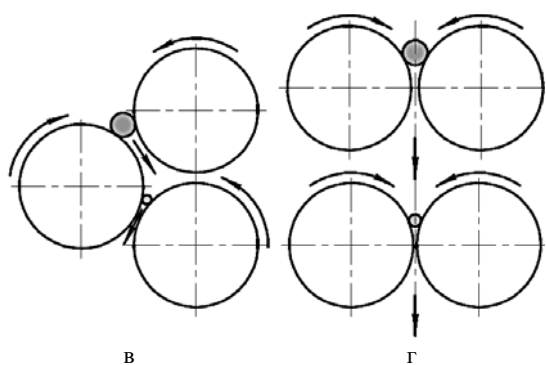


Рис. 6. Типы валковых дробилок

Одновалковая (рис. 6, а) – разрушение материала обеспечивается за счет раздавливания между валком и неподвижной плитой (бронями или корпусными деталями дробилки).

Двухвалковая (рис. 6, б) – дробление материала происходит между парой вращающихся валков, один из которых имеет возможность перемещаться в корпусе, тем самым регулируя степень дробления материала.

Трехвалковая (рис. 6, в) – процесс измельчения реализуется в две стадии: первая (предварительное

дробление) – между верхним и средним валком; вторая (чистовое дробление) – между средним и нижним.

Четырехвалковая (рис. 6, г) – процесс измельчения также реализуется в две стадии: первая (предварительное дробление) – между верхней парой валков; вторая (чистовое дробление) – между нижними валками (при этом их можно рассматривать как две двухвалковые дробилки, смонтированные друг над другом в одном корпусе).

По устройству привода валковые дробилки подразделяют на следующие категории:

- с одним общим приводом: с клиноременной (рис. 7, а) и зубчатой (рис. 7, б) передачей крутящего момента на неприводной валок;

- с несколькими синхронизированными двигателями (подключаются по одному на каждый валок) с передачей крутящего момента через муфты (рис. 7, в) и через карданный вал (рис. 7, г);

- с двигателем на один валок без синхронизации (рис. 7, д) (вращение неприводного валка обеспечивается за счет сил трения, возникающих при дроблении материала).

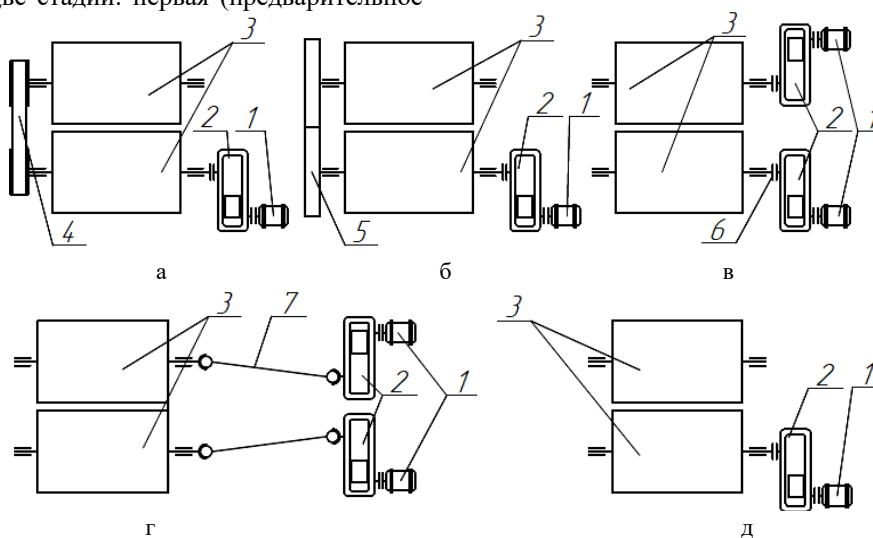


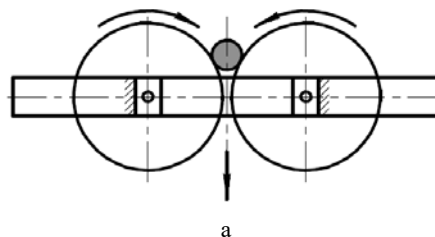
Рис. 7. Типы приводов валковых дробилок:

1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – валок; 4 – клиноременная передача; 5 – шестеренная передача; 6 – муфта; 7 – карданная передача

Двух- и четырехвалковые дробилки конструктивно различают по возможности перемещения (подвижности) дробящих рабочих органов – валков. Подвижность валков предохраняет дробилку от выхода из строя рабочих органов при попадании в пространство между валками недробимых предметов и снижает негативное воздействие динамических нагрузок в процессе дробления материала.

На рис. 8 представлены основные типы валковых дробилок по возможности перемещения валков:

- с жестко закрепленными в станине дробилки валками (а);
- с одним подвижным валком (б);
- с двумя подвижными валками (в).



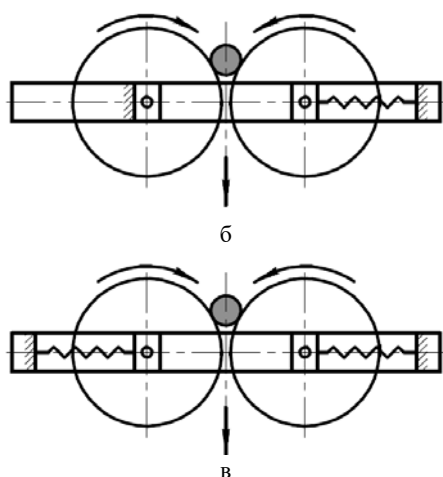


Рис. 8. Типы валковых дробилок по возможности перемещения валков

В качестве амортизирующих устройств используют пружинные, гидравлические и гидропневматические механизмы. В некоторых случаях натяжные устройства оснащаются системой автоматической регулировки.

Валковые дробилки также различают по конструктивным особенностям основных рабочих органов – валков.

По конструкции валки подразделяются на бандажированные и цельные.

По форме рабочей поверхности валки, применяемые в дробилках, используемых в металлургической промышленности, подразделяются на следующие основные категории (рис. 9):

- гладкие с цилиндрической (а) и бочкообразной (б) формой поверхности бандажа;
- рифленные [11] (в);
- мелкозубчатые (г).

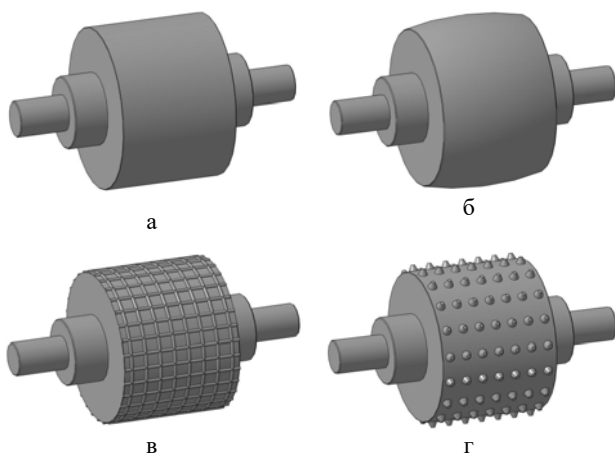


Рис. 9. Типы валков по форме рабочей поверхности

Зубчатые роторные дробилки (как отдельный класс дробилок) можно подразделить по следующим конструктивным и технологическим признакам.

По количеству зубчатых роторов:

- однороторные;
- двухроторные.

По размещению зубьев звездочек на роторе (относительно оси вращения):

- расположенные в ряд (линейное расположение) (рис. 10);
- с расположением по винтовой линии (спиральное расположение) (рис. 11);
- с шевронным расположением лопастей звездочек на роторе [12] (рис. 12).

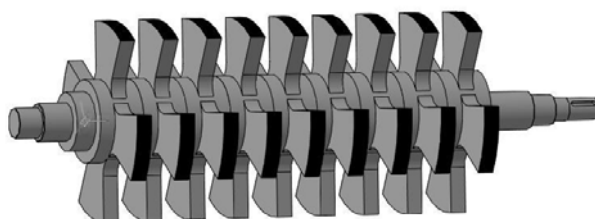


Рис. 10. Ротор зубчатой роторной дробилки с расположением зубьев в ряд (линейное расположение)

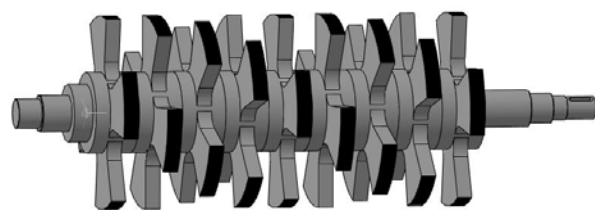


Рис. 11. Ротор зубчатой роторной дробилки с винтовым (спиральным) расположением зубьев

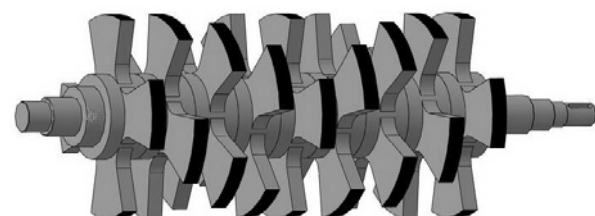


Рис. 12. Ротор зубчатой дробилки с шевронным расположением зубьев

По числу ступеней дробления (наличию колосниковой решетки):

- двухступенчатые с колосниковой решеткой;
- одноступенчатые с колосниковой решеткой;
- одноступенчатые без колосниковой решетки.

По форме колосниковой решетки:

- плоская;
- с перепадом поверхности контакта материала с колосниками (рис. 13);
- ломаная;
- вогнутая (рис. 14).

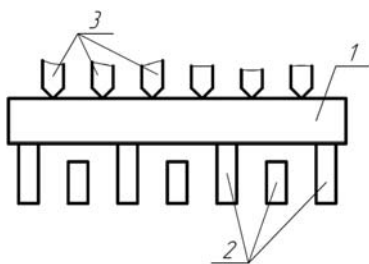


Рис. 13. Колосниковая решетка с перепадом поверхности контакта материала с колосниками:

1 – массив дробимого материала; 2 – колосниковая решетка; 3 – зубья ротора

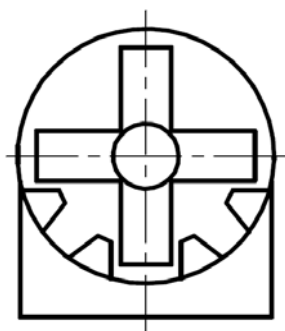


Рис. 14. Многоступенчатая однороторная дробилка с вогнутой колосниковой поверхностью

По способу крепления колосниковой решетки:

- двухопорная с горизонтальным расположением решетки;
- двухопорная с наклонным расположением колосниковой решетки;
- консольная.

По возможности переустановки колосников:

- переворачиваемые обратной стороной (для повторного использования колосник разворачивают неизношенной поверхностью к зубьям ротора);
- поворотные (по мере износа одной поверхности колосник поворачивают другой (неизношенной) гранью или сектором).

По возможности замены рабочей поверхности зубьев:

- цельные незаменяемые;
- со сменными накладками.

По взаимному расположению колосников и зубьев ротора:

- с зубьями, проходящими через колосниковую решетку;
- с зубьями, не проходящими через колосники.

По возможности охлаждения:

- с принудительным охлаждением;
- без охлаждения.

По расположению рабочей поверхности зубьев:

- радиальные;
- тангенциальные;

По скорости вращения ротора:

- тихоходные;
- быстроходные.

Со времени появления щековых дробилок предложено множество различных видов их конструкций, из которых относительно малое количество зарекомендовало себя в достаточной степени на предприятиях металлургической отрасли в качестве оборудования для фракционной подготовки различных материалов.

Б. А. Клушанцевым была предложена классификация щековых дробилок [2]. В ее основу положен характер динамики движения (кинематическая схема) рабочего органа (подвижной щеки или щек). По его мнению, именно данный параметр определяет самые важные технико-эксплуатационные показатели щековых дробилок.

Согласно этой классификации кинематические схемы щековых дробильных машин делятся на две группы:

– дробилки, движение от кривошипа к подвижной щеке которых передается кинематической цепью (данные машины называют щековыми дробилками с простым движением подвижной щеки);

– дробилки, в приводе которых кривошип и подвижная щека образуют единую кинематическую пару (дробильные машины с такой кинематической схемой называются щековыми дробилками со сложным движением подвижной щеки).

В настоящее время щековые дробилки различных конструкций получили широкое применение и предусматривают классификацию по определенным признакам.

По расположению оси подвеса подвижной щеки:

- с верхним подвесом;
- с нижним подвесом.

Как описывалось выше, дробилки подразделяются по характеру передачи движения от кривошипа к подвижной щеке дробилки:

– с простым движением щеки (движение от кривошипа к подвижной щеке передается с помощью кинематической цепи), при этом траектория движения точек, образующих рабочую поверхность подвижной щеки, представляет собой прямые линии или же части дуг окружностей;

– со сложным движением щеки (кривошип и подвижная щека являются единой кинематической цепью), при этом траектория движения точек, образующих рабочую поверхность подвижной щеки, представляет собой замкнутые кривые линии, наиболее распространенными из которых являются эллипсы.

Также щековые дробилки классифицируют по способу воздействия рабочих органов на дробимый кусок в процессе разрушения материала:

- статического – сжимающего действия (с медленным сближением рабочих органов);
- динамического – ударного действия (с быстрым сближением щек).

По количеству подвижных щек:

- с одной подвижной щекой;
 - с двумя подвижными щеками.
- По типу применяемого привода качания щек:
- механический;
 - гидравлический;
 - с вибрационным приводом.

При этом приводы щековых дробилок (механизмы привода подвижной щеки) также можно разделить на два типа:

- с обеспечением траектории движения подвижной плиты при помощи распорных плит;
- с непосредственным приводом от ведущего эксцентрикового вала.

В то же время применяются приводы дробилок с предохранительными устройствами, предотвращающими повреждение приводного вала или подшипниковых опор за счет ломкой плиты или предохранительной муфты. В этом случае при попадании недробимого предмета в рабочее пространство дробилки происходит срабатывание предохранителя, маятник останавливается, а маховики свободно прокручиваются на валу.

По форме футеровки щек:

- с прямолинейной рабочей поверхностью футеровки;
- с криволинейной футеровкой;
- со специальным профилем.

По виду воздействия на материал:

- раздавливающие;
- комбинированные (раздавливание с истиранием).

По виду разгрузки готового продукта:

- под действием силы тяжести;
- с принудительной разгрузкой.

По согласованности движения щек:

- синхронное;
- асинхронное.

По возможности регулировки усилий дробления:

- с постоянным усилием дробления;
- с регулируемым усилием дробления.

Остальные конструктивные схемы различных типов дробильных машин металлургических предприятий, не рассмотренные в классификации, могут применяться в единичных случаях научно-производственного характера, так как в настоящее время они еще требуют всесторонней конструктивной проработки и отлаживания режимов работы.

Выводы и направление дальнейших исследований. Предложена уточненная классификация дробильных машин, применяемых на предприятиях черной металлургии для фракционной подготовки различных сырьевых материалов и готовой продукции. Рассмотрены и распределены по разновидностям различные конструкции молотковых, валковых, щековых дробилок. На основании анализа конструктивных и технологических различий современных валковых и зубчатых роторных дробилок предложены

уточнения в классификации дробильно-измельчительных машин, согласно которым данные дробилки рассматриваются в качестве отдельных типов. Рассмотрены и систематизированы согласно группам подобию и различия основные конструкции зубчатых роторных дробилок.

Л и т е р а т у р а

1. Борщев В.Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы. – Тамбов: издательство ТГТУ, 2004. – 75 с.
2. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
3. Гребеник В.М. Механическое оборудование металлургических заводов. Механическое оборудование фабрик окускования и доменных цехов: учебное пособие для вузов. – К.: Выща школа, 1985. – 312 с.
4. Власенко Д.А. Комплексный анализ особенностей эксплуатации дробильно-измельчительного оборудования в агломерационном производстве // Инновационные перспективы Донбасса. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – Т. 3. – С. 150-154.
5. Власенко Д.А. Технические решения в области проектирования и повышения эффективности дробильно-измельчительных машин // Инновационные перспективы Донбасса. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. – Донецк: ДонНТУ, 2020. – Т. 3. – С. 8-92.
6. Власенко Д.А., Левченко Э.П. К вопросу уточнения систематизации валковых и роторных зубчатых дробилок // Инновационные перспективы Донбасса. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. – Донецк: ДонНТУ, 2021. – Т. 3. – С. 88-92.
7. Власенко Д.А. Аналитический способ определения мощности привода зубчатой роторной дробилки // Сборник научных трудов ДонГТИ. – Алчевск: ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. – № 22 (65). – С. 90-99.
8. Ротор молотковой дробилки: пат. 179695 РФ, МПК В 02 С 13/16 (2006.01). / Власенко Д.А., Карпов А.В. // № 2018106733; заявл. 22.02.18 ; опубл. 22.05.18 ; Бюл. № 15.
9. Способ ударного воздействия материалов в молотковой дробилке: пат. № 2683547 РФ, МПК В02С 13/16 / Власенко Д.А., Жильцов А.П., Левченко Э.П., Вишневский Д.А. // 2018116102, заявл. 27.04.18; опубл. 28.03.19, Бюл. № 10.
10. Ротор молотковой дробилки: пат. 189059 РФ, МПК В02С 13/16 / Власенко Д.А., Жильцов А.П., Левченко Э.П. // № 2018143765, заявл. 10.12.18; опубл. 07.05.19, Бюл. № 13.
11. Валок четырехвалковой дробилки: пат. 188107 РФ, МПК В02С 4/30. / Жильцов А.П., Билан Г.А., Власенко Д.А., Левченко Э.П., Мележик Р.С. // № 2018134232; заявл. 27.09.2018 ; опубл. 28.03.2019 ; Бюл. № 10.
12. Ротор одновалковой зубчатой дробилки: пат. 196194 РФ, МПК В02С 4/00, В02С 4/28, В02С 4/30. / Власенко Д.А., Жильцов А.П., Левченко Э.П., Мороз В.В., Мягков А.С. // № 2019137708 ; заявл. 21.11.2019 ; опубл. 19.02.2020, Бюл. № 5.

References

1. Borschev V.Ya. Grinding Equipment: crushers and mills. – Tambov: TSTU publishing house, 2004. – 75 p. (in Russian).
2. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muizemnek Yu.A. Crushers. Design, calculation, features of operation. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 320 p. (in Russian).
3. Grebenik V.M. Mechanical equipment of metallurgical plants. Mechanical equipment for agglomeration factories and blast-furnace shops: a textbook for universities. – K.: Vyscha school, 1985. – 312 p. (in Russian).
4. Vlasenko D.A. Complex analysis of the peculiarities of the operation of crushing and grinding equipment in sinter production // Innovative perspectives of Donbass. Innovative technologies for the design, manufacture and operation of industrial machines and units. – Donetsk: DonNTU, 2019. – T. 3. – P. 150-154 (in Russian).
5. Vlasenko D.A. Technical solutions in the field of designing and improving the efficiency of crushing and grinding machines // Innovative perspectives of Donbass. Innovative technologies for the design, manufacture and operation of industrial machines and units. – Donetsk: DonNTU, 2020. –T. 3. – P. 8-92 (in Russian).
6. Vlasenko D.A., Levchenko E.P. On the issue of clarifying the systematization of roller and rotary gear crushers // Innovative perspectives of Donbass. Innovative technologies for the design, manufacture and operation of industrial machines and assemblies. – Donetsk: DonNTU, 2021. – T. 3. –P. 88-92 (in Russian).
7. Vlasenko D.A. Analytical method for determining the drive power of a gear rotary crusher // Collection of scientific papers DonSTI. – Alchevsk: SEI HE LPR «DSTI», 2021. – No. 22 (65). – P. 90-99 (in Russian).
8. Hammer crusher rotor: Pat. 179695 RF, IPC B 02 S 13/16 (2006.01). / Vlasenko D.A., Karpov A.V. // No. 2018106733; declared 02.22.18; publ. 05/22/18; Bul. No. 15. (in Russian).
9. Method of materials impact in a hammer mill: Pat. No. 2683547 of the Russian Federation, IPC B02C 13/16 / Vlasenko D. A., Zhiltsov A. P., Levchenko E. P., Vishnevsky D. A. // 2018116102, declared. 27.04.18; publ. 28.03.19, Bul. # 10. (in Russian).
10. Hammer mill rotor: Pat. 189059 RF, IPC B02C 13/16 / Vlasenko D.A., Zhiltsov A.P., Levchenko E.P. // no. 2018143765, declared. 10.12.18; publ. 07.05.19, Bul. # 13. (in Russian).
11. Roll of a four-roll crusher: Pat. 188107 RF, IPC B02C 4/30. / Zhiltsov A.P., Bilan G.A., Vlasenko D.A., Levchenko E.P., Melezhih R.S. // No. 2018134232; declared 09/27/2018; publ. 03/28/2019; Bul. # 10. (in Russian).
12. Rotor of a single-roll gear crusher: Pat. 196194 RF, IPC B02C 4/00, B02C 4/28, B02C 4/30. / Vlasenko D.A., Zhiltsov A.P., Levchenko E.P., Moroz V.V., Myagkov A.S. // No. 2019137708; declared 11/21/2019; publ. 02/19/2020, bul. # 5. (in Russian).

Vlasenko D.A., Levchenko E.P.

REFINED CLASSIFICATION OF INDIVIDUAL TYPES OF CRUSHING EQUIPMENT FOR FERROUS METALLURGY ENTERPRISES

A refined classification of crushing machines used at ferrous metallurgy enterprises for fractional preparation of various raw materials and finished products is proposed. Various designs of hammer, roller, jaw crushers are considered and systematized according to their types. Based on the analysis of structural and technological differences between modern roller and gear rotary crushers, clarifications are proposed in the classification of crushing and grinding machines, according to which these crushers are considered as separate types. Considered and distributed according to the groups of similarities and differences, the basic designs of toothed rotary crushers.

Key words: crushing and grinding machines, hammer crusher, roller crusher, single rotor gear crusher, jaw crusher, classification.

Власенко Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВО ЛНР «Донбасский Государственный Технический Институт».

E-mail: vlasdmitrij@yandex.ru

Vlasenko Dmitriy, candidate of technical sciences, associate professor chair of ferrous metals metallurgy SEI HE LPR «Donbass State Technical Institute».

E-mail: vlasdmitrij@yandex.ru

Левченко Эдуард Петрович, кандидат технических наук, профессор кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВО ЛНР «Донбасский Государственный Технический Институт».

E-mail: levchenckoeduard@yandex.ua

Levchenko Eduard, candidate of technical sciences, associate professor chair of ferrous metals metallurgy SEI HE LPR «Donbass State Technical Institute».

E-mail: levchenckoeduard@yandex.ua

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, д.т.н., проф., проректор по научной работе и инновационной деятельности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 30.04.2021

УДК 622.647.2

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НАГРУЗОК НА ЛЕНТУ И РОЛИКООПОРУ КОНВЕЙЕРА

Гутаревич В.О., Скляр В.Н.

Dynamic impact of loads on the traction element and roller bearings of belt conveyor

Gutarevich V.O., Sklyarov V.N.

Статья посвящена решению проблемы, связанной с динамическим воздействием дополнительных нагрузок на ленту и роlikоопоры, формирующихся во время работы ленточного конвейера. Приведены результаты теоретических исследований динамических процессов, возникающих при этом. Получено уравнение собственных колебаний груза на конвейерной ленте. Установлены зависимости влияния скорости движения и натяжения тягового контура конвейера на колебательные процессы ленты с грузом.

Ключевые слова: груз, конвейер, лента, роlikоопора, колебания, нагрузка.

Введение. Динамическое воздействие нагрузок на ленту и роlikоопору ленточного конвейера является одним из основных факторов, влияющих на эффективность его работы. Дополнительные динамические нагрузки увеличивают износ составных элементов и уменьшают срок службы всего конвейера. Особенно это характерно для подземных условий эксплуатации. Поэтому снижение влияния динамических воздействий на элементы ленточного конвейера является актуальной научно-производственной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследованию динамических процессов, возникающих во время работы ленточных конвейеров, посвящен ряд работ [1-5]. В статьях [6, 7] проведено структурирование модели системы «груз – конвейерная лента – роlikоопоры»

и уточнены нагрузки в шахтных ленточных конвейерах.

Данная статья является продолжением указанных исследований.

Цель работы – установление взаимосвязи между параметрами колебаний ленты с грузом во время движения по роlikоопорам для снижения дополнительных динамических нагрузок на став конвейера.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

- разработана математическая модель колебаний ленты с грузом во время движения по роlikоопорам конвейера;
- исследованы процессы колебаний конвейерной ленты во время движения по роlikоопорам;
- определены условия, при которых динамические воздействия на ленту и роlikоопоры конвейера сводятся к минимуму.

Изложение основных материалов.

Рассмотрим участок грузовой ветви ленточного конвейера длиной l_p , приведенный на рис. 1. Во время движения ленты погонной массой q_l со скоростью V и с находящейся на ней погонной массой груза q_g , возникают натяжение W и провес $y(x, t)$. На практике провес ленты не превышает нескольких процентов от расстояния между роlikоопорами, поэтому при малых углах отклонения можно считать $\tan \varphi = \varphi$.

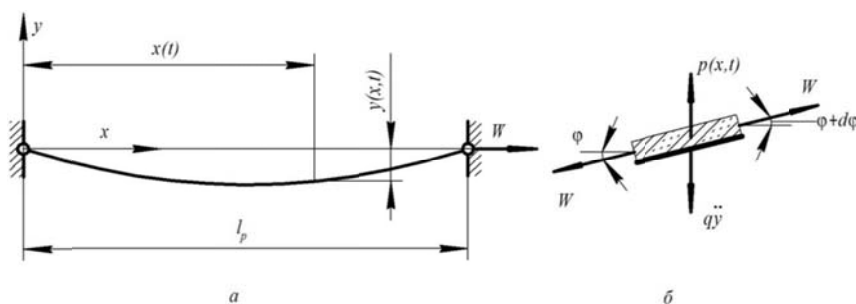


Рис. 1. Расчетная схема поперечных колебаний конвейерной ленты с грузом во время движения:
а – общий вид; б – силы, действующие на участок ленты

Если обозначить суммарную погонную массу как $q = q_l + q_r$, то на основании условия равновесия элементарного элемента ленты длиной dx и при отсутствии возмущающей нагрузки $p(x, t)$ волновое уравнение колебаний будет:

$$q\ddot{y} = Wy''; \quad \ddot{y} = a^2 y'', \quad (1)$$

где a – скорость распространения волны деформаций по длине ленты, которая равна $a = \sqrt{W/q}$.

Для перемещений $y(x, t)$ можно записать:

$$dy = \frac{\partial y}{\partial x} dx + \frac{\partial y}{\partial t} dt.$$

Происходящие во время движения колебания груза приводят к повороту поперечных сечений конвейерной ленты на угол $\varphi = \frac{\partial y}{\partial x}$.

Угловая скорость переносного движения груза будет:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t}.$$

На основании [8] считаем, что

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{d^4 y}{dx^2} = \frac{1}{p}.$$

Тогда после подстановки в уравнение (1) соответствующих ускорений и преобразований получим уравнение собственных колебаний груза на конвейерной ленте:

$$q \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + 2Vq_r \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} - (W - q_r V^2) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0. \quad (2)$$

Решение дифференциального уравнения (2) найдем в виде

$$y(x, t) = C(x) e^{-i(\omega t + nx)}. \quad (3)$$

Используя (3), уравнение (2) имеет вид:

$$q\omega^2 C(x) + 2iC'(x)(q_r V\omega - n(W - q_r V^2)) + 2q_r Vn\omega C(x) + (W - q_r V^2)(C''(x) - n^2 C(x)) = 0.$$

Если приравнять мнимую часть этого равенства к нулю, то можно определить параметр:

$$n = \frac{q_r V\omega}{W - q_r V^2}. \quad (4)$$

Учитывая это и приравняв действительную часть к нулю имеем:

$$C''(x) + \xi^2 C(x) = 0, \quad (5)$$

где принято обозначение:

$$\xi = \frac{\omega \sqrt{Wq - q_l q_r V^2}}{W - q_r V^2}.$$

Выражение (5) является амплитудным уравнением колебаний ленты с грузом. Решение этого уравнения найдем в виде

$$C(x) = A \sin \xi x + B \cos \xi x.$$

Используем граничные условия.

При $x = 0$ имеем $y(0) = C(0)$ и $B = 0$.

При $y(l_p) = C(l_p)$ получим $\cos \xi = 0$.

Тогда $\xi l_p = k\pi$.

На основании этого имеем уравнение частот:

$$\omega_0 = \frac{k\pi(W - q_r V^2)}{l_p \sqrt{qW - q_l q_r V^2}}. \quad (6)$$

Если вместо вида (3) принять $y(x, t) = \text{Re } C(x) e^{-i(\omega t + nx)}$, то аналогично можно получить уравнение:

$$y(x, t) = \sum A_k \sin \frac{k\pi x}{l_p} \cos(\omega_0 t + nx), \quad (7)$$

где A_k – амплитуда колебаний.

Полученное выражение (7) является уравнением бегущей волны.

Если скорость движения ленты $V = 0$, то на основании (4) параметр $n = 0$. Отсюда уравнение стоящих волн можно записать в виде:

$$y(x, t) = \sum A_k \sin \frac{k\pi x}{l_p} \cos \omega_c t,$$

где ω_c – частота колебаний стоячей волны, равная

$$\omega_c = \frac{k\pi}{l_p} \sqrt{\frac{W}{q}}.$$

Результаты исследований. Из анализа уравнения (6) следует, что при первой критической скорости движения, когда $V_1 = \sqrt{W/q_r}$, частота колебаний равна нулю и колебаний ленты происходить не будет. При второй критической скорости, когда $V_2 = \sqrt{Wq/(q_l q_r)}$, значение частоты стремится в бесконечность.

На рис. 2 показаны зависимости критических скоростей движения ленты $V_1 = f(W)$ и $V_2 = f(W)$, полученные для различных значений погонных масс q_l и q_r . Из этого рисунка видно, что с повышением натяжения W значения критических скоростей увеличиваются. Причем, с повышением значений масс q_l и q_r скорости V_1 и V_2 принимают более высокие значения.

Для натяжений W , равных менее 0,2...0,3 кН, наблюдается интенсивный рост V_1 и V_2 . Для более высоких значений W интенсивность роста V_1 и V_2 снижается. Поскольку во время эксплуатации ленточного конвейера скорость движения ленты составляет не более 4,5 м/с, дальнейшее исследование ее влияния на динамические характеристики колебаний конвейерных лент

проведем, главным образом, при натяжениях W не более 2 кН.

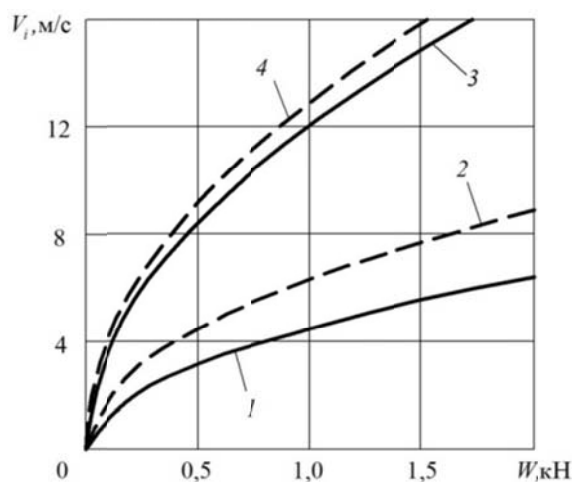


Рис. 2. Зависимость критической скорости движения грузовой конвейерной ленты от натяжения рабочей ветви: 1 – $V_1 = f(W)$ при $q_l = 50$ кг/м; 2 – $V_1 = f(W)$ при $q_l = 25$ кг/м; 3 – $V_2 = f(W)$ при $q_l = 8$ кг/м; $q_r = 50$ кг/м; 4 – $V_2 = f(W)$ при $q_l = 8$ кг/м; $q_r = 25$ кг/м

Графики зависимости частот колебаний конвейерной ленты с грузом ω от изменения ее скорости движения приведены на рис. 3. При этом натяжения W составляли 0,5 кН и 2,0 кН, погонные массы q_l принимались равными от 8 кг/м до 50 кг/м, а погонные массы q_r – от 25 кг/м до 50 кг/м.

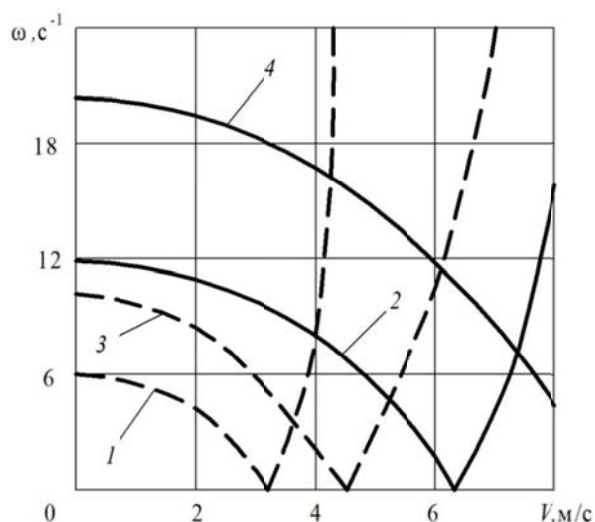


Рис. 3. Зависимости частот колебаний грузовой ленты с грузом от скорости движения рабочей ветви конвейера: 1 – при $W = 0,5$ кН; 2 – $W = 2$ кН ($q_l = q_r = 50$ кг/м); 3 – при $W = 0,5$ кН, 4 – $W = 2$ кН ($q_l = 8$ кг/м, $q_r = 25$ кг/м)

Из этих графиков видно, что при увеличении скорости движения ленты от нуля до первой критической, частоты ω уменьшаются до минимума, и при дальнейшем ее увеличении до второй критической – резко повышаются и стремятся к

бесконечности. Следовательно, при движении ленты со скоростью, близкой к первой критической, колебания практически отсутствуют. Поэтому при выполнении тяговых расчетов ленточных конвейеров и выборе целесообразной скорости движения ленты необходимо учитывать это обстоятельство.

Расчеты показывают, что для случая, когда $W = 0,5$ кН, $q_l = 8$ кг/м и $q_r = 25$ кг/м первая критическая скорость равна 4,5 м/с, а вторая – 9,1 м/с. Когда $W = 2,0$ кН критические скорости составляют 8,9 м/с и 18,2 м/с, соответственно. Отсюда видно, что только для случая, когда лента имеет погонную массу 8 кг/м первая критическая скорость входит в диапазон работы конвейера, эксплуатируемого в подземных условиях.

Для случая, когда $W = 0,5$ кН, $q_l = q_r = 50$ кг/м, первая критическая скорость равна 3,2 м/с, а вторая – 4,7 м/с. Соответственно, когда $W = 2,0$ кН, критические скорости составляют 6,3 м/с и – 8,9 м/с.

На рис. 4 приведены зависимости частот колебаний ω от натяжения тягового органа W . Из этого рисунка следует, что частоты первого тона колебаний повышаются с увеличением натяжения W во всем принятом диапазоне. Для частот второго тона колебаний характерен минимум, который достигается, когда $W = 0,5 \dots 1,0$ кН. Причем меньшие значения натяжений относятся к лентам меньшей погонной массы, то есть к конвейерам с шириной ленты 800 мм.

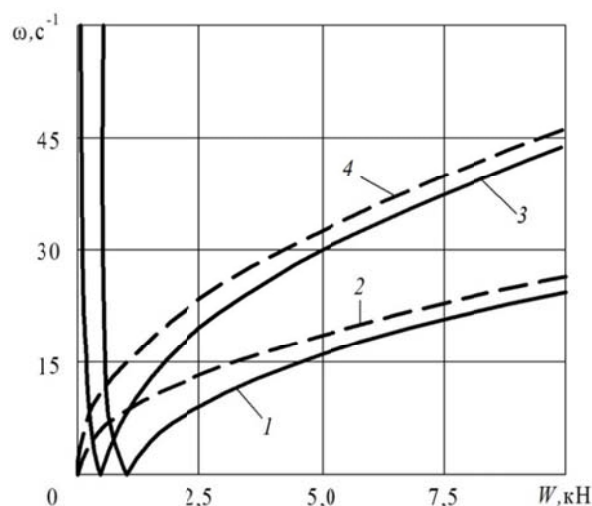


Рис. 4. Зависимости частот колебаний грузовой конвейерной ленты с от натяжения рабочей ветви: 1 – $V = 4,5$ м/с, $q_l = q_r = 50$ кг/м; 2 – $V = 0$ м/с, $q_l = q_r = 50$ кг/м; 3 – $V = 4,5$ м/с, $q_l = 8$ кг/м, $q_r = 25$ кг/м; 4 – $V = 0$ м/с, $q_l = 8$ кг/м, $q_r = 25$ кг/м

Следовательно, для снижения поперечных колебаний ленты и уменьшения нагрузки на роlikопоры минимальное натяжение рабочей ветви конвейера должно быть не менее 1,0 кН. Указанное ограничение не вступает в противоречие с требованием по обеспечению минимального

натяжения конвейерной ленты по условию провеса [9, 10] и дополняет его.

Рассмотрим формы амплитуд колебаний ленты с грузом во время движения рабочей ветви конвейера (рис. 5), полученные для значений $q_d = 8$ кг/м, $q_r = 25$ кг/м, $W = 2,0$ кН и $l_p = 1,2$ м. Приведенные на рис. 5а кривые относятся для скорости движения ленты 1,0 м/с, а на рис. 2.5б – 4,5 м/с.

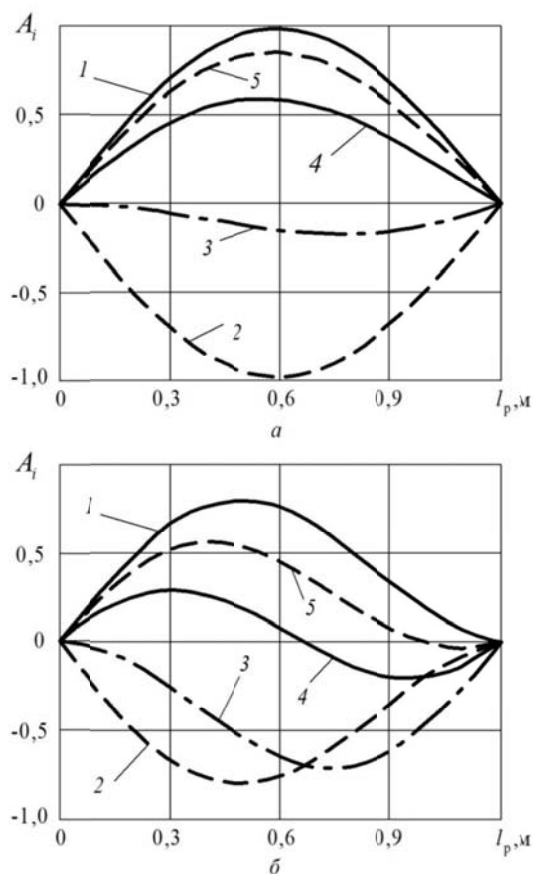


Рис. 5. Формы амплитуд колебаний грузовой конвейерной ленты во время движения:

а – $V = 1,0$ м/с; б – $V = 4,5$ м/с, где 1 – $t = T_1$; 2 – $t = T_1/2$; 3 – $t = T_1/4$; 4 – $t = T_1/8$; 5 – $t = T_1/16$

Во время движения ленты конвейера со скоростью $V = 1,0$ м/с частота первого тона колебаний составляет $20,2$ с⁻¹, а период колебаний – $0,31$ с. При скорости $V = 4,5$ м/с частота колебаний принимает значение $15,7$ с⁻¹, а период колебаний – $0,40$ с.

Для шага установки роlikоопор $l_p = 1,4$ м и скорости ленты $V = 1,0$ м/с частота колебаний равна $17,3$ с⁻¹, период колебаний – $0,36$ с. Для этого шага установки роlikоопор, скорости ленты $V = 4,5$ м/с частота и период колебаний соответственно составляют $13,5$ с⁻¹ и $0,47$ с.

Следует отметить, что с увеличением погонной массы ленты и груза до 50 кг/м форма изгиба амплитуд колебаний ленты во времени практически не изменяется, а изменяются только амплитуды перемещений.

Выводы. На основании проведенных исследований получены следующие основные результаты.

Формирующиеся во время работы конвейера поперечные колебания ленты главным образом определяются действующими нагрузками, шагом установки роlikоопор, натяжением тягового контура и его скоростью движения.

Установлено, что при увеличении скорости движения ленты от нуля до первой критической, частоты ее колебаний уменьшаются до минимума и колебания отсутствуют.

При дальнейшем увеличении скорости от первой критической до второй критической – резко повышаются и стремятся к бесконечности.

Для снижения поперечных колебаний ленты и уменьшения нагрузки на роlikоопоры минимальное натяжение рабочей ветви конвейера с шириной ленты 800 мм должно быть не менее $1,0$ кН.

Л и т е р а т у р а

1. Галкин В.И., Шуткин И.В. Анализ динамических нагрузок на линейных роlikоопорах ленточного конвейера при транспортировании крупнокусковых грузов // ГИАБ. – 1999. – № 5. – С. 226-228.
2. Галкин В.И. Оценка систем мониторинга состояния конвейерных лент для горной промышленности // ГИАБ. – 2019. – № 3. – С. 166-174.
3. Захаров А.Ю., Ерофеева Н.В. Вибрация ленты и рабочие процессы конвейера // Вестник КузГТУ. – 2015. – № 6 (112). – С. 78-82.
4. Яхонтов Ю.А. Особенности тягового расчета ленточных конвейеров с подвесными роlikоопорами // ГИАБ. – 2012. – № 3-5. – С. 3-10.
5. Яхонтов Ю.А. Условия возникновения автоколебаний подвесных роlikоопор ленточных конвейеров // ГИАБ. – 2014. – № 6. – С. 292-297.
6. Долгих В.П., Корнеев С.В. Структурирование компьютерной модели системы «груз – конвейерная лента – роlikоопоры» в программном комплексе ANSYS Workbench // Сборник научных трудов НГУ. – Днепропетровск: НГУ, 2014. – Вып. 45. – С. 105-111.
7. Долгих В.П., Корнеев С.В., Доброногова В.Ю. Моделирование реальных нагрузок в шахтных ленточных конвейерах на основе уточненного тягового расчета // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск: ДонГТУ, 2019. – Вып. 56. – С. 81-90.
8. Шевченко Ф.Л. Механика упругих деформируемых систем. Ч. 3. Динамическое воздействие нагрузок. – Киев: УМК ВО, 1993. – 188 с.
9. Расчеты и проектирование транспортных средств непрерывного действия / А.И. Барышев и др.; под ред. В.П. Кондрахина; ГОУ ВПО «ДОННТУ». – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Донецк: ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2017. – 689 с.
10. Теоретические основы и расчеты транспорта энергоемких производств: учебное пособие для вузов / В.А. Будишевский и др.; под общ. ред. В.П. Кондрахина; ГОУ ВПО «ДОННТУ». – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Донецк: ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2017. – 216 с.

References

1. Galkin V.I., Shutkin I.V. Analiz dinamicheskikh nagruzok na linejnyh rolikooporah lentchnogo konveyera pri transportirovanii krupnokuskovykh gruzov // GIAB. – 1999. – № 5. – P. 226-228.
2. Galkin V.I. Otsenka sistem monitoringa sostoyaniya konveyernykh lent dlya gornoj promyshlennosti // GIAB. – 2019. – № 3. – P. 166-174.
3. Zakharov A.Yu., Erofeeva N.V. Vibratsiya lenty i rabochiye protsessy konveyera // Vestnik KuzGTU. – 2015. – № 6 (112). – P. 78-82.
4. Yakhontov Yu.A. Osobennosti tyagovogo rascheta lentchnykh konveyerov s podvesnymi rolikooporami // GIAB. – 2012. – № 3-5. – P. 3-10.
5. Yakhontov Yu.A. Usloviya vozniknoveniya avtokolebaniy podvesnykh rolikoopor lentchnykh konveyerov // GIAB. – 2014. – № 6. – P. 292-297.
6. Dolgikh V.P., Korneyev S.V. Strukturirovaniye kompyuternoy modeli sistemy «gruz – konveyernaya lenta – rolikoopory» v programmnom komplekse ANSYS Workbench // Sbornik nauchnykh trudov NGU. – Dnepropetrovsk: NGU. 2014. – Vyp. 45. – P. 105-111.
7. Dolgikh V.P., Korneyev S.V., Dobronogova V.Yu. Modelirovaniye realnykh nagruzok v shakhtnykh lentchnykh konveyerakh na osnove utochnennogo tyagovogo rascheta // Sbornik nauchnykh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – Alchevsk: DonGTU. 2019. – Vyp. 56. – P. 81-90.
8. Shevchenko F.L. Mekhanika uprugikh deformiruyemykh sistem. Ch. 3. Dinamicheskoye vozdeystviye nagruzok. – Kiev: UMK VO. 1993. – 188 p.
9. Raschety i proyektirovaniye transportnykh sredstv nepreryvnogo deystviya / A.I. Baryshev i dr.; pod red. V.P. Kondrakhina; GOU VPO «DONNTU». – Izd. 2-e. pererab. i dop. – Donetsk: GOU VPO «DONNTU». 2017. – 689 p.
10. Teoreticheskiye osnovy i raschety transporta energoyemkikh proizvodstv: uchebnoye posobiye dlya vuzov / V.A. Budishevskiy i dr.; pod obshch. red. V.P. Kondrakhina; GOU VPO «DONNTU». – Izd. 2-e. pererab. i dop. – Donetsk: GOU VPO «DONNTU». 2017. – 216 p.

Gutarevich V.O., Sklyarov V.N.

DYNAMIC IMPACT OF LOADS ON THE TRACTION ELEMENT AND ROLLER BEARINGS OF BELT CONVEYOR

The article is dedicated to solve the problem associated with the dynamic effect of additional loads on belt and roller supports, formed during operation of belt conveyor. Are given results of theoretical studies of dynamic processes, arising in this case. The equation of natural vibrations of the load is obtained on conveyor belt. Dependences of influence of speed movement and tension of traction circuit of conveyor on oscillatory belt processes with load.

Key words: cargo, conveyor, belt, roller support, vibrations, load.

Гутаревич Виктор Олегович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспортные системы и логистика», ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет».

E-mail: viktor.gutarevich@mail.ru

Gutarevich Victor, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Transport Systems and Logistics» Department of State Higher Education Establishment «Donetsk National Technical University».

E-mail: viktor.gutarevich@mail.ru

Скляров Владимир Николаевич, инженер кафедры «Транспортные системы и логистика», ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет».

E-mail: tsl.kafedra@gmail.com

Sklyarov Vladimir, engineer of the «Transport Systems and Logistics» Department of State Higher Education Establishment «Donetsk National Technical University».

E-mail: tsl.kafedra@gmail.com

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 15.04.2021

УДК 621.43: 536.7

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ТЕПЛОВЫХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ КАСКАДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЭНЕРГИИ ПОТОКОВ ГАЗОВЫХ РАБОЧИХ СРЕД

Данилейченко А.А., Быкадоров В.В., Ковтун А.С.

ESTIMATION OF HEAT PLANTS OPERATION PROCESS EFFECTIVE ON THE BASIS OF WORKING ENVIRONMENTS GAS FLOW ENERGY CASCADE TRANSFORMATORS

Danileychenko A.A., Bykadorov V.V., Kovtun A.S.

В статье кратко изложены основные положения методов термодинамического анализа: метода эксергетических потоков и метода вычитания эксергетических потерь (энтропийного метода). Представлена методика оценки эффективности рабочих процессов тепловых установок на базе каскадных трансформаторов энергии потоков газовых рабочих сред, разработанная на основании термодинамического анализа. Проведено численное моделирование рабочих циклов тепловых машин одноступенчатого исполнения на базе каскадного обменника давления – генератора газа и теплового компрессора. По результатам расчетных исследований для выбранных тепловых установок получены расходные характеристики, а также характеристики энергетической эффективности, построенные в зависимости от относительной величины расхода рабочего тела, отбираемого на линию потребителей при различных максимальных температурах цикла. Выполнен анализ влияния указанных основных режимных параметров на эффективность рабочего процесса генератора газа и теплового компрессора.

Ключевые слова: термодинамический анализ, тепловой компрессор, теплоперепад, энтальпия, эксергия.

Введение. Качественная оценка эффективности теплоиспользования в любых теплоэнергетических установках, где используется вторичная тепловая энергия, может быть выполнена только на основании термодинамического анализа, позволяющего дать ясное представление о характере использования энергоресурсов и удельной доле потерь в различных элементах исследуемой установки.

Термодинамический анализ преследует две цели: определение степени термодинамического совершенства рабочих процессов энергетических установок и указание путей увеличения экономии топлива или электроэнергии, вводимых в рабочий цикл установки [1-3].

Метод энергетического баланса не дает полного представления о возможностях использования в установке потоков тепла

отработавших газов и охлаждающей жидкости дизеля. Кроме того, суммируются потоки тепла, имеющие различную энергетическую ценность. К недостаткам метода теплового баланса следует отнести также то, что он не учитывает необратимости процессов, протекающих в утилизационной установке [2].

Степень совершенства процессов трансформации энергии в комбинированных двигателях и других теплосиловых установках, оборудованных системами утилизации теплоты, может быть оценена лишь при использовании метода термодинамического анализа, позволяющего свести качественно различные виды энергии к единой величине.

Целью работы является получение адекватных критериев термодинамической эффективности теплосиловых установок на базе каскадных трансформаторов энергии газовых рабочих сред.

Задачи исследования. Краткое изложение сущности методов термодинамического анализа: метода эксергетических потоков и метода вычитания эксергетических потерь – энтропийного метода.

Получение математических выражений для различных видов коэффициентов полезного действия тепловых установок на базе каскадных трансформаторов энергии потоков рабочих тел.

Математическое моделирование рабочих процессов некоторых тепловых машин на базе каскадного обменника давления – генератора газа и теплового компрессора в одноступенчатом исполнении.

Анализ расчетных характеристик генератора газа и теплового компрессора, построенных на основании результатов численного моделирования.

Изложение основных материалов. Термодинамический метод [1, 2, 4] имеет две разновидности: метод эксергетических потоков и метод вычитания эксергетических потерь

(энтропийный метод). Метод вычитания эксергетических потерь [2] исходит из того, что нет нужды изучать все потоки эксергии. Зная первичную эксергию (эксергию на входе в установку), достаточно учитывать в дальнейшем только эксергетические потери. Последние суммируются друг с другом и позволяют продукцию любой энергетической установки (выработанную электроэнергию или отпущенную потребителям эксергию тепла) подсчитывать как разность между первичной эксергией и эксергетическими потерями. Они же позволяют подсчитывать энергозатраты в холодильных и теплонасосных установках как сумму первичной эксергии и эксергетических потерь.

Метод эксергетических потоков фиксирует величины всех потоков эксергии, включая замыкающиеся сами на себя, учитывает как увеличение, так и уменьшение потоков эксергии в рабочих процессах энергетических установок [4, 5].

При оценке степени термодинамического совершенства утилизационных систем теплосиловых установок более полную картину распределения составляющих тепловых потерь дает использование метода потоков эксергии.

Рассмотрим различные виды коэффициентов полезного действия на примере одного из созданных проф. А.И. Крайнюком каскадных трансформаторов энергии газовых потоков – каскадного обменника давления (КОД) [6] – высокоэффективного агрегата прямого преобразования энергии потока горячего газа в располагаемую работу сжимаемого воздуха.

В случае применения каскадного обменника давления в составе генераторов газа, используемых, например, в расширительных машинах для получения механической работы [7], адиабатный КПД определяется по формуле [8]:

$$\eta_{\text{гг}}^{\text{ад}} = \frac{G_{\text{омб}} \cdot \frac{k}{k-1} R \cdot T_z \cdot \left[1 - \left(\frac{P_z}{P_o} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right]}{Q_{\text{подв}}},$$

где $G_{\text{омб}}$ – массовый расход газа, отбираемого к потребителю; k – показатель адиабаты газа; R – газовая постоянная рабочего тела; P_z и T_z – максимальные давление и температура цикла КОД; P_o – атмосферное давление; $Q_{\text{подв}}$ – тепловая мощность, подводимая в цикл.

Простейшая схема генератора газа КОД в одноступенчатом исполнении изображена на рис. 1.

В случае применения агрегата КОД в схеме тепловых компрессоров (ТККОД) – машин для получения сжатого воздуха [9] математическое выражение адиабатного КПД имеет вид [8]:

$$\eta_{\text{тк}}^{\text{ад}} = \frac{G_{\text{омб}} \frac{k}{k-1} R \cdot T_0 \cdot \left[\left(\frac{P_z}{P_o} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{Q_{\text{подв}}},$$

где $G_{\text{омб}}$ – массовый расход воздуха, отбираемого к потребителю; k – показатель адиабаты воздуха; R – газовая постоянная воздуха; T_0 – температура окружающей среды.

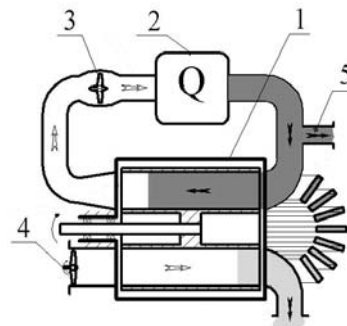


Рис. 1. Одноступенчатый генератор газа КОД:
1 – КОД; 2 – источник подвода теплоты; 3 – циркуляционный вентилятор; 4 – продувочный вентилятор; 5 – патрубок отбора горячего газа потребителю

Простейшая схема одноступенчатого теплового компрессора КОД приведена на рис. 2, из которой видно, что генератор газа КОД и тепловой компрессор КОД в сущности являются одной и той же тепловой машиной; их различие заключается в месте установки отборного патрубка: в генераторе газа патрубок 5 отбора газа установлен после камеры сгорания 2 (рис. 1), в тепловом компрессоре патрубок 1 отбора сжатого воздуха (рис. 2) устанавливается в напорном контуре между каскадным обменником и циркуляционным вентилятором.

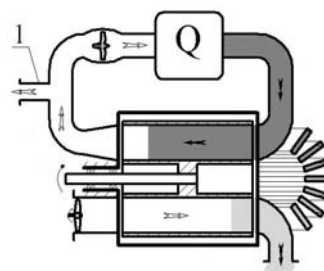


Рис. 2. Одноступенчатый тепловой компрессор КОД:
1 – патрубок отбора сжатого воздуха

Переходя к реальной установке ТККОД, необходимо учесть дополнительные затраты энергии на привод ротора каскадного обменника. При этом следует иметь ввиду некоторую неоднозначность определения эффективного КПД η_e , обусловленную необходимостью использования неопределенного коэффициента полезного действия $\eta_{\text{рм}}$ условной расширительной машины, мощность которой эквивалентна затратам на привод ротора КОД [8].

Остановимся подробнее на выводе выражения КПД для двух случаев использования агрегата КОД.

При рассмотрении физической сущности эффективного КПД каскадного обменника, используемого в схеме теплового компрессора или генератора газа, уместна аналогия с работой газотурбинной установки (ГТУ), соответственно предназначенной для нагнетания воздуха или генерирования горячего газа, т.е. ГТУ, в которой мощность турбины расходуется только на привод компрессора.

Использование агрегата КОД в составе генератора газов.

Сжатый в каскадном обменнике воздух, отводимый к потребителю $G_{отб}$, проходит через источник подвода теплоты 2 (рис. 1), где нагревается до максимальной температуры цикла T_z . При определении эффективного КПД в качестве полезной энергии необходимо рассматривать лишь «рафинированную» часть генерируемого потока, после исключения из него «затратной» части, энергетически эквивалентной мощности привода ротора КОД с учетом КПД преобразования в условной расширительной машине. Расход рабочего тела через условную расширительную машину привода составляет:

$$G_{pm} = \frac{N_{np}}{H_z \eta_{pm}}, \quad (1)$$

где N_{np} – механическая мощность, затрачиваемая на привод ротора КОД («компрессора ГТУ»); η_e – КПД условной расширительной машины; H_z – располагаемый теплоперепад газов при температуре T_z , определяемый по формуле:

$$H_z = \frac{k}{k-1} RT_z \left[1 - \left(\frac{P_z}{P_o} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right].$$

Массовый расход, соответствующий полезной составляющей генерируемой энергии, определяется как разность

$$G_{II} = G_{отб} - G_{pm}.$$

Тогда эффективный КПД генератора газа КОД может быть выражен формулой:

$$\eta_{zz}^e = \frac{G_{II} H_z}{Q_{подв}} = \frac{G_{отб} H_z - G_{pm} H_z}{Q_{подв}}. \quad (2)$$

С учетом (1) выражение (2) примет вид:

$$\eta_{zz}^e = \frac{G_{отб} H_z - \frac{N_{np}}{\eta_{pm}}}{Q_{подв}} = \frac{G_{отб} \frac{k}{k-1} RT_z \left[1 - \left(\frac{P_z}{P_o} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right] - \frac{N_{np}}{\eta_{pm}}}{Q_{подв}}.$$

Работа КОД в схеме теплового компрессора.

Воздух, сжимаемый в рабочем цикле каскадного обменника, подводится к потребителю через напорный патрубок 1 (рис. 2) при температуре конца сжатия T_c , минуя источник подвода теплоты. Однако условный расход воздуха, энергетически эквивалентный затратам мощности на привод ротора, должен быть рассчитан с учетом его подогрева в источнике подвода теплоты до

температуры T_z . При этом располагаемый теплоперепад потока, отводимого к условной расширительной машине, возрастает пропорционально отношению T_z/T_c [8].

Условие энергетической эквивалентности потока через расширительную машину затратам мощности привода ротора может быть записано в виде:

$$\frac{G_{pm} H_c T_z}{T_c} \eta_{pm} = N_{np},$$

где H_c – располагаемый теплоперепад воздуха, отведенного к условной расширительной машине, определяемый из выражения

$$H_c = \frac{k}{k-1} RT_c \left[1 - \left(\frac{P_z}{P_o} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right].$$

Расход воздуха через условную расширительную машину

$$G_{pm} = \frac{N_{np} T_c}{\eta_{pm} H_c T_z}. \quad (3)$$

Поскольку в агрегате КОД, в отличие от ГТУ, привод ротора осуществляется от внешнего источника, и тепло на подогрев потока, отводимого к расширительной машине, в реальном процессе не затрачивается, то при определении потенциальных затрат тепловой энергии (с учетом необходимости привода ротора) необходимо учесть дополнительное тепло на подогрев потока G_{pm} посредством слагаемого в знаменателе формулы эффективного КПД:

$$\eta_e = \frac{(G_{отб} - G_{pm}) H_{\kappa}^{ad}}{Q_{подв} + Q_{np}} = \frac{G_{отб} H_{\kappa}^{ad} - G_{pm} H_{\kappa}^{ad}}{Q_{подв} + Q_{np}},$$

где H_{κ}^{ad} – адиабатический теплоперепад в компрессоре:

$$H_{\kappa}^{ad} = \frac{k}{k-1} R \cdot T_o \cdot \left[\left(\frac{P_z}{P_o} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right].$$

Принимая во внимание, что процесс подвода теплоты в камере сгорания происходит при постоянном давлении, то подведенная в нагревателе тепловая мощность равна приращению удельной энтальпии потока:

$$Q_{подв} = G_{pm} C_p (T_z - T_c),$$

где C_p – удельная массовая изобарная теплоемкость воздуха, средняя в интервале температур $T_c - T_z$.

С учетом уравнения (3) получаем окончательное выражение эффективного КПД теплового компрессора КОД:

$$\eta_e = \frac{G_{отб} H_{\kappa}^{ad} - \frac{N_{np} T_c}{\eta_{pm} T_z} \frac{H_{\kappa}^{ad}}{H_c}}{Q_{подв} + C_p \frac{N_{np} T_c}{\eta_{pm} H_c T_z} (T_z - T_c)},$$

или в развернутом виде:

$$\eta_e = \frac{G_{омб} \frac{k}{k-1} RT_0 \left(\left(\frac{P_z}{P_o} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) - \frac{N_{np} T_0 \left(\frac{P_z}{P_o} \right)^{\frac{k-1}{k}}}{\eta_{pm} T_z}}{Q_{подв} + C_p \frac{N_{np}}{\eta_{pm} \frac{k}{k-1} RT_z \left(1 - \left(\frac{P_z}{P_o} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right)}} (T_z - T_c).$$

Согласно общепринятым представлениям [4, 5] эксергетический КПД различных устройств представляет собой отношение полученного полезного эффекта к затратам, необходимым в данном устройстве для получения этого эффекта. Тогда эксергетический КПД агрегата КОД примет вид:

$$\eta_{ex} = \frac{G_{омб} \cdot e_{омб}}{N_{np} + E_q} = \frac{G_{омб} \cdot e_{омб}}{N_{np} + Q_{подв} \cdot \left(1 - \frac{T_o}{T_z} \right)},$$

где $e_{омб}$ – удельная работоспособность (эксергия) потока воздуха, отведенного к потребителю; E_q – эксергия теплоты, подведенной в цикл агрегата КОД.

Удельная эксергия потока воздуха $e_{омб}$, отбираемого из цикла теплового компрессора КОД потребителю, определяется уравнением:

$$e_{омб} = i - i_0 - T_o (s - s_0),$$

где i и s – соответственно удельная энтальпия и энтропия потока воздуха, отведенного к потребителю; i_0 , s_0 – удельная энтальпия и энтропия окружающей среды.

Аналогично определяется эксергетический КПД для другого вида каскадного трансформатора энергии потоков газовых сред – компрессора теплового сжатия (КТС).

Результаты исследований. Согласно изложенной методике оценки энергетической эффективности рабочих циклов тепловых установок, основанных на каскадных трансформаторах энергии потоков газовых рабочих тел, были проведены расчетные исследования одноступенчатого генератора газа и теплового компрессора на базе каскадного обменника давления, результаты которых изображены графиками $\eta_{\Gamma} = \eta_{\Gamma}(G'_{отб})$ и $\eta_{\kappa} = \eta_{\kappa}(G'_{отб})$ при различных значениях максимальной температуры цикла, представленными соответственно на рис. 3 и 4, где также приведены расчетные расходные характеристики $\pi_{\kappa} = \pi_{\kappa}(G'_{отб})$ соответственного одноступенчатого генератора газа КОД и теплового компрессора КОД при различных температурных режимах.

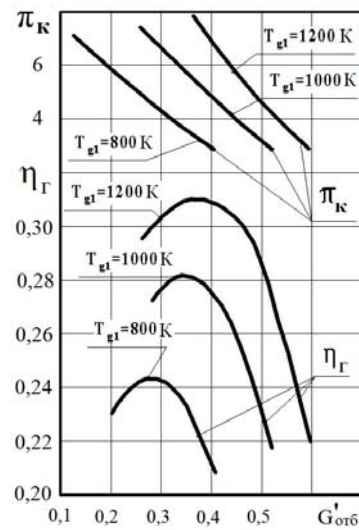


Рис. 3. Характеристика одноступенчатого генератора газа на базе каскадного обменника давления

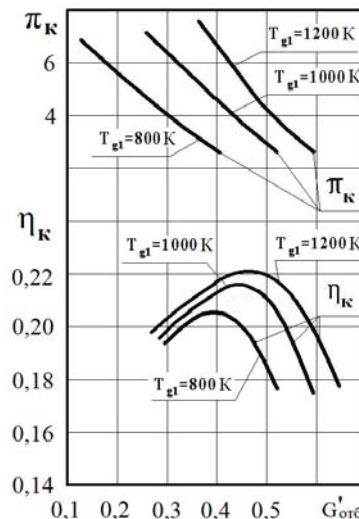


Рис. 4. Характеристика одноступенчатого теплового компрессора на базе каскадного обменника давления

Математическое моделирование рабочих процессов генератора газа и теплового компрессора выполнялись на основании методики уточненного моделирования каскадного обменника давления, приведенной в работе [10] при согласовании граничных условий газовых потоков в газообменных окнах КОД и упрощенном моделировании процессов подвода теплоты в камере сгорания и создании перепада давления в напорном контуре циркуляционным вентилятором. Численное исследование выполнено при следующих основных геометрических параметрах каскадного обменника давления: длина ротора $L_R = 0,5$ м; площадь окна подвода газа высокого давления $F_{ПВД} = 0,025$ м²; угол раскрытия окна подвода газа высокого давления $\varphi_{ПВД} = 20^\circ$; площадь окна отвода газа низкого давления $F_{ПВД} = 0,106$ м²; угол раскрытия окна отвода газа низкого давления $\varphi_{ПВД} = 85^\circ$; площадь торцевой поверхности ротора $F_R = 0,45$

м^2 ; число массообменных каналов статора $z_K = 10$; число чечек ротора $z_K = 50$.

Расходные характеристики генератора газа и теплового компрессора КОД построены в зависимости от относительного расхода $G'_{отб}$, соответственно, газа или сжатого воздуха, отбираемого в линию потребителей, представляющего собой отношение абсолютных расходов того или иного рабочего тела, отбираемого потребителем, к массовой пропускной способности ротора.

Сравнивая расходные характеристики рассматриваемых тепловых установок КОД, видно, что тенденция изменения степени повышения давления π_K в обоих тепловых машинах практически одинакова: увеличение относительной доли расхода рабочего тела, отбираемого потребителем, сопровождается снижением напорности. Повышение максимальной температуры цикла при неизменном отборе рабочей среды сопровождается увеличением π_K . Так, например, увеличение $G'_{отб}$ на 0,1 единицы с 0,2 до 0,3 при температуре сжимающего газа $T_{g1} = 800 \text{ К}$ сопровождается снижением напорности теплового компрессора на 1,66 единицы с 5,66 до 4 (рис. 4). При этом повышение максимальной температуры цикла T_{g1} с 800 К до 1000 К при относительном отборе воздуха $G'_{отб} = 0,3$ влечет увеличение напорности компрессора на 2,4 единицы с $\pi_K = 4$ до $\pi_K = 6,4$.

С точки зрения термодинамической эффективности рабочие циклы исследуемых тепловых установок КОД имеют существенные отличия. Как видно из рис. 3 и 4, значения КПД генератора газа КОД на сходственных режимах значительно превышают значения аналогичного параметра теплового компрессора, что очевидно и обуславливается гораздо большим адиабатическим теплоперепадом горячего газа в сравнении со сжимаемым воздухом. В отличие от монотонных расходных характеристик $\pi_K = \pi_K(G'_{отб})$, кривые $\eta_r = \eta_r(G'_{отб})$ и $\eta_K = \eta_K(G'_{отб})$ имеют точки максимума. Данный факт объясняется тем, что при увеличении расхода, отбираемого потребителем, быстрее возрастает полезный эффект работы тепловой машины (тепловая мощность газового потока или потенциальная энергия давления сжатого воздуха). Начиная с некоторого момента, дальнейшее увеличение отбора рабочего тела сопровождается существенным падением напорности и, как следствие, замедлением приращения адиабатического теплоперепада потока рабочего тела, отбираемого потребителем, на фоне достаточно быстро возрастающей тепловой мощности, подводимой в цикл машины в камере сгорания, что обуславливает снижение КПД системы.

Общей тенденцией для обеих тепловых машин является смещение экстремума кривой $\eta_e = \eta(G'_{отб})$ в сторону больших значений $G'_{отб}$ при повышении температуры T_{g1} . При этом приращение КПД тепловой машины на базе КОД в режиме генератора

газа является более существенным, чем в режиме теплового компрессора. Так, например, повышение максимальной температуры цикла с 800 К до 1000 К на режиме $G'_{отб} = 0,4$ способствует повышению КПД с 0,212 до 0,276 в режиме генератора газа, т.е. на 6,4%, в то время как в режиме теплового компрессора указанный параметр увеличивается с 0,206 до 0,214, что составляет всего 0,8%.

Следует отметить, что дальнейшее повышение максимальной температуры цикла приводит к замедлению роста КПД при фиксированной величине $G'_{отб}$. Так, например, при том же значении $G'_{отб} = 0,4$ увеличение T_{g1} с 1000 К до 1200 К сопровождается увеличением КПД генератора газа с 0,276 до 0,309, т.е. на 3,3%, а теплового компрессора – с 0,214 до 0,218, т.е. на 0,4%. Данная закономерность связана, с одной стороны, с повышением работы сжатия воздуха в цикле КОД, который значительно нагревается от столь горячего сжимающего газа путем теплообмена, а с другой – увеличением тепловой мощности, подводимой в источнике теплоты.

Выводы. Приведенная в статье методика оценки энергетической эффективности тепловых установок на базе каскадных трансформаторов энергии потоков газовых рабочих тел, основанная на методе термодинамического анализа, позволяет гораздо более адекватно определить степень совершенства преобразования первичной тепловой энергии топлива в конечную потенциальную работу сжатого воздуха в тепловом компрессоре или располагаемую тепловую энергию потока, создаваемого генератором газа, чем метод энергетического баланса.

Построенные по результатам расчетных исследований характеристики энергетической эффективности одноступенчатого генератора газа и теплового компрессора каскадного обмена давления свидетельствуют о наличии ярко выраженного экстремума графиков зависимости эффективного КПД тепловой установки КОД от величины относительного расхода рабочего тела, отбираемого потребителем. Наиболее энергетически выгодные режимы эксплуатации рассмотренных тепловых машин, соответствующие максимумам $\eta_e = \eta(G'_{отб})$, смещаются в сторону больших значений $G'_{отб}$ с увеличением максимальной температуры цикла. При этом повышение T_{g1} при неизменном относительном расходе рабочего тела на линию потребителей в большей степени отражается на повышении эффективности генератора газа КОД, чем теплового компрессора, что видно из построенных графиков.

Необходимо подчеркнуть, что форсирование тепловых машин на базе КОД по максимальной температуре цикла с некоторого момента сопровождается замедлением возрастания эффективного КПД генератора газа и теплового компрессора. Например, повышение T_{g1} на 200°C от 1000 К до 1200 К на режиме относительного отбора

$G'_{отб} = 0,4$ приводит к возрастанию КПД генератора газа КОД на 3,3%, а теплового компрессора всего на 0,4%. Таким образом, целесообразность дальнейшего увеличения T_{g1} свыше 1200 К представляется весьма сомнительной с точки зрения повышения η_c . С другой стороны, увеличение нагрева рабочего тела в камере сгорания свыше 1200 К ограничено жаростойкостью материалов самой камеры сгорания и тракта напорной линии. При этом следует отметить, что в случае необходимости некоторым резервом дальнейшего повышения максимальной температуры цикла свыше 1200 К в пределах 100-150°C является самоохлаждающая способность ротора КОД, обусловленная попеременным заполнением ячеек горячим газом и относительно холодным сжимаемым воздухом.

Л и т е р а т у р а

1. Сторчеус Ю.В. Исследование термодинамической эффективности утилизационной системы комбинированного двигателя / Ю.В. Сторчеус, В.П. Левчук, А.В. Черных, Л.И. Иевлева // Вестн. Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля. – Луганск, 2001. – № 6 (40). – С. 169-173.
2. Гохштейн Д.П. Современные методы термодинамического анализа энергетических установок / Д.П. Гохштейн. – М.: Энергия, 1969. – 368 с.
3. Сторчеус Ю.В. Эксергетический анализ трансформаторов энергии транспортных ДВС / Ю.В. Сторчеус, Л.Г. Косоногова, И.В. Антоненко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы IX междунар. науч.-тех. конф. – Минск: БНТУ, 2011. – Т. 2. – С. 75-76.
4. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.
5. Янговский Е.И. Потoki энергии и эксергии / Е.И. Янговский. – М.: Наука, 1988. – 144 с.
6. Крайнюк А.И. Расчет и выбор основных параметров каскадного обменника давления / А.И. Крайнюк, А.А. Крайнюк, С.В. Алексеев, М.А. Брянец // Двигатели внутреннего сгорания: Научно-технический журнал НТУ «ХПИ» – Харьков: 2007. – № 1. – С. 57-62.
7. Крайнюк А.И. Новые направления совершенствования рабочего процесса газотурбинных двигателей с каскадным обменником давления Крайнюка / А.И. Крайнюк, С.А. Алехин, С.В. Алексеев и др. // Авиационно-космическая техника и технология: научно-технический журнал Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» – Харьков: 2010. – № 7 (74). – С. 45-53.
8. Крайнюк А.И. Критерии эффективности агрегата каскадно-теплого сжатия / А.И. Крайнюк, А.А. Данилейченко, А.А. Крайнюк // Вестн. Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля. – 2005. – № 8 (90). – С. 176-179.
9. Крайнюк А.И. Компрессор каскадного обмена давлением Крайнюка / А.И. Крайнюк, С.В. Алексеев // Локомотив информ: Международный информационный научно-технический журнал. Изд-во «Подвижной состав» – Харьков: 2010. – С. 59-62.
10. Крайнюк А.И. Математическая модель рабочего процесса силовой установки каскадного теплового сжатия / А.И. Крайнюк, А.А. Данилейченко, А.М. Гоголя // Вестн. Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля. Луганск: Изд-во ВНУ. – 2001. – № 6 (40). – С. 162-168.

References

1. Storcheus Yu.V. Issledovanie termodinamicheskoy effektivnosti utilizatsionnoy sistemy kombinirovannogo dvigatelya / Yu.V. Storcheus, V.P. Levchuk, A.V. Chernyih, L.I. Ievleva // Vestn. Vostochnoukr. nats. un-ta im. V. Dallya. – Lugansk, 2001. – № 6 (40). – P. 169-173.
2. Gohshteyn D.P. Sovremennyye metody termodinamicheskogo analiza energeticheskikh ustanovok / D.P. Gohshteyn. – M.: Energiya, 1969. – 368 p.
3. Storcheus Yu.V. Eksergeticheskyy analiz transformatorov energii transportnykh DVS / Yu.V. Storcheus, L.G. Kosonogova, I.V. Antonenko // Nauka – obrazovaniyu, proizvodstvu, ekonomike: materialy IX mezhdunar. nauch.-teh. konf. – Minsk: BNTU, 2011. – T. 2. – P. 75-76.
4. Brodyanskiy V.M. Eksergeticheskyy metod termodinamicheskogo analiza / V. M. Brodyanskiy. – M.: Energiya, 1973. – 296 p.
5. Yantovskiy E.I. Potoki energii i eksergii / E.I. Yantovskiy. – M.: Nauka, 1988. – 144 p.
6. Kraynyuk A.I. Raschet i vybor osnovnykh parametrov kaskadnogo obmennika davleniya / A.I. Kraynyuk, A.A. Kraynyuk, S.V. Alekseev, M.A. Bryantsev // Dvigateli vnutrennego sgoraniya: Nauchno-tehnicheskyy zhurnal NTU «HPI» – Harkov: 2007. – № 1. – P. 57-62.
7. Kraynyuk A.I. Novyye napravleniya sovershenstvovaniya rabocheho protsessa gazoturbinnyykh dvigateley s kaskadnym obmennikom davleniya Kraynyuka / A.I. Kraynyuk, S.A. Alehin, S.V. Alekseev i dr. // Aviatsionno-kosmicheskaya tehnika i tehnologiya: nauchno-tehnicheskyy zhurnal Nats. aerokosm. un-t im. N.E. Zhukovskogo «HAI» – Harkov: 2010. – № 7 (74). – P. 45-53.
8. Kraynyuk A.I. Kriterii effektivnosti agregata kaskadno-teplovogo szhatiya / A.I. Kraynyuk, A.A. Danileychenko, A.A. Kraynyuk // Vestn. Vostochnoukr. nats. un-ta im. V. Dallya. – 2005. – № 8 (90). – P. 176-179.
9. Kraynyuk A.I. Kompessor kaskadnogo obmena davleniem Kraynyuka / A.I. Kraynyuk, S.V. Alekseev // Lokomotiv inform: Mezhdunarodnyy informatsionnyy nauchno-tehnicheskyy zhurnal. Izd-vo «Podvizhnoy sostav» – Harkov: 2010. – P. 59-62.
10. Kraynyuk A.I. Matematicheskaya model rabocheho protsessa silovoy ustanovki kaskadnogo teplovogo szhatiya / A.I. Kraynyuk, A.A. Danileychenko, A.M. Gogulya // Vestn. Vostochnoukr. nats. un-ta im. V. Dallya. Lugansk: Izd-vo VNU. – 2001. – № 6 (40). – P. 162-168.

Danileychenko A.A., Bykadorov V.V., Kovtun A.S. ESTIMATION OF HEAT PLANTS OPERATION PROCESS EFFECTIVE ON THE BASIS OF WORKING ENVIRONMENTS GAS FLOW ENERGY CASCADE TRANSFORMATORS

The main positions of methods of thermodynamically analysis: method of exergy flows and method of exergy losses subtract (entropy method) have been summarized in the article. The method of estimation of heat plants operation process effective on the base of gas working environment energy flows cascade transformers, developed on the basis of thermodynamic analysis, is presented. The numerical modeling of the operating cycles of single-stage heat engines based on a cascade pressure exchanger – a gas generator and a heat compressor – has been carried out. Based on the results of computational studies for the selected heating plants, the flow characteristics, as well as the characteristics

of energy efficiency, were obtained, built depending on the relative value of the flow rate of the working fluid taken to the consumer line at various maximum cycle temperatures. The analysis of the influence of the indicated basic operating parameters on the efficiency of the working process of the gas generator and the thermal compressor is carried out.

Key words: *thermodynamic analysis, heat compressor, heat-difference, enthalpy, exergy.*

Данилейченко Александр Анатольевич, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: 280376@rambler.ru

Danileychenko Alexander, candidate of technical sciences, associate professor, head of «Internal combustion engines» State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: 280376@rambler.ru

Быкадоров Вадим Викторович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Железнодорожный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: 311transport@gmail.com

Bykadorov Vadim, candidate of technical sciences, associate professor, Director of the Institute of Transport and Logistics, Head of the Department of Railway Transport State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: 311transport@gmail.com

Ковтун Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: revearon@mail.ru

Kovtun Alexander, senior lecturer of the «Internal combustion engines» Department, State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: revearon@mail.ru

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновационной деятельности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 15.04.2021

УДК 681.3.01

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПУТЕМ АНАЛИЗА ПОТОКА ОТКАЗОВ И ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЧИН ИХ ПОЯВЛЕНИЯ

Замота Т.Н., Панайотов К.К., Крупица О.В.

IMPROVING THE VEHICLE MAINTENANCE SYSTEM BY ANALYSIS OF THE FAILURE FLOW AND IDENTIFICATION OF THEIR CAUSES

Zamota T.N., Panayotov K.K., Krupica O.V.

В статье представлены результаты анализа технического состояния парка подвижного состава автопредприятия и существующих систем диагностирования состояния автомобилей в реальных условиях эксплуатации. Предложен алгоритм интеллектуальной системы технического обслуживания автомобилей на основе непрерывного мониторинга состояния их узлов и агрегатов и выработки интеллектуальной стратегии организации ремонтов с учетом потока отказов для каждой единицы парка подвижного состава.

Ключевые слова: интеллектуальная система технического обслуживания и ремонта, непрогнозируемый поток отказов, адаптивные системы диагностирования, органолептические методы контроля подвески автомобиля.

Введение. Существующая система диагностирования неисправностей и поломок транспортных средств базируется на использовании не соответствующих современным требованиям норм и положений по проведению технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) [1]. В основе существующих методик лежит проведение плановых мероприятий, установленных заводом-изготовителем, на основе пробега транспортного средства и региональных условий эксплуатации. Существующие условия эксплуатации подвижного состава не позволяют эффективно применять существующие методики для предотвращения отказов и поломок агрегатов и узлов автомобиля и прогнозировать ремонты и замены агрегатов и узлов автомобиля [2].

Анализ последних исследований и публикаций. Существующая проблема организации ремонтов и технического обслуживания узлов и агрегатов автомобиля, а также вопросы оценки надежности систем автомобиля описаны в работах И.В. Денисова [1], В.П. Захарова [2], Д.С. Быкова [3]. Но в реальных условиях эксплуатации автомобилей требуется четкая количественная оценка потока отказов и поломок узлов и агрегатов для каждого автомобиля в реальных условиях эксплуатации.

Цель исследования. Исследования проводились на пассажирском АТП, которое обеспечивает перевозку пассажиров в системе горных предприятий региона. Целью являлось получение реальных параметров технической эксплуатации автобусов на маршрутах и установление взаимосвязи потока отказов с периодичностью проведения запланированных ТО и Р. Рейсы автобусов должны осуществляться в строгом соответствии с графиком, подразумевающим круглосуточную доставку рабочих смен от мест проживания рабочих и ИТР до конкретного горного предприятия (шахты). В этом случае остановка пассажирского транспортного средства является недопустимым, так как может привести к срыву непрерывного процесса добычи или обогащения угля. Исходя из этого, парк подвижного состава АТП всегда должен находиться в работоспособном состоянии.

Материалы и результаты исследования. Состав парка включает в себя автобусы разного типа иностранного производства – IKARUS 250, IKARUS 255, IKARUS 260, IKARUS 280, DAF \$ 2000, Mercedes Benz O 405, NEOPLAN N402/1, VANHOOL A 500.

Таблица 1

**Характеристика автобусов АТП при ежедневной
эксплуатации за 2019-2020 гг.**

Марка автобуса	Год выпуска	Средний ежедневный пробег, км	Пробег с начала эксплуатации, км
DAF \$ 2000 wan	1997	180	570000
Mercedes Benz O 405	1994	280	500000
Ikarus 280	1997	200	450000
Ikarus 250	1985	700	800000
Ikarus 255	1988	270	700000
Ikarus 260	1977	250	600000
VANHOOL A 500	1999	250	700000

Это автобусы туристического типа, городского типа и сочлененные автобусы особо большого класса. Все автобусы прошли все сроки гарантийного обслуживания, и их техническое обслуживание затруднено тем, что заводы производители на сегодняшний день практически не выпускают для этих марок запасные части.

Перевозки осуществляются по дорогам городского и районного значения, состояние которых является крайне неудовлетворительным. Существующие альтернативные запасные части, в большинстве случаев, являются некачественными и не способны проходить заявленный срок службы. Это приводит к преждевременным поломкам и выходам из строя узлов и агрегатов автобусов, а именно подвески, рулевого управления, двигателя и электрооборудования.

Исследования, проводимые на автотранспортном предприятии, осуществляющие автобусные перевозки рабочих смен горных предприятий, показывают, что эксплуатация туристических и сочлененных автобусов особо большого класса на районных дорогах общего назначения с неудовлетворительным дорожным покрытием приводят к преждевременным поломкам и выходам из строя элементов подвески, пневмосистемы, трансмиссии и других агрегатов и узлов.

В этой ситуации существующие методы прогнозирования ремонтов и текущего обслуживания транспортных средств на маршрутах, в том числе и органолептические методы и методы объективного контроля, являются малоэффективными, так как не способны определить сроки предупредительных ремонтов и своевременной замены узлов и агрегатов, срок службы которых сокращается в разы в реальных условиях эксплуатации. В связи с этим необходимо разработать методику предварительного диагностирования наиболее нагруженных узлов и агрегатов транспортных средств, основанную на использовании технологии интеллектуальных информационных систем. Определение сроков предупредительных ремонтов и обслуживания позволит перейти от адаптивных систем диагностирования и прогнозирования к интеллектуальной системе диагностики и прогнозированию выхода из строя узлов и агрегатов автомобиля, условия эксплуатации которых не соответствуют рекомендованным заводом-изготовителем.

При разработке алгоритма усовершенствования системы ТО и Р необходимо отметить, что суточные пробеги являются небольшими, так, в среднем транспортное средство проходит 150...300 км в сутки. Исследования показывают, что автомобили не способны выдерживать запланированные интервалы до ТО, так как отказы и поломки случаются гораздо чаще, практически на каждые 500 км. Потоки отказов в реальных условиях

эксплуатации являются значительными. С увеличением продолжительности эксплуатации автобусов эта тенденция усиливается. Поддержание техники в работоспособном состоянии в таких условиях требует значительных трудовых и финансовых ресурсов. Применение ППС ТО и Р не приносит положительного результата, так как отказы наступают значительно раньше нормативных сроков проведения отдельных видов ТО. Поэтому необходимо разработать новый алгоритм интеллектуальной системы ТО и Р с учетом реальных условий эксплуатации существующего парка автобусов.

Частота отказов и выходов из строя узлов и агрегатов является слабо прогнозируемой величиной и не зависит от фактического пробега транспортного средства. В условиях реальной эксплуатации могут превалировать внезапные поломки над постепенными, вызванными процессами изнашивания и усталостного разрушения. С целью усовершенствования существующей системы ТО и Р автомобилей, согласно разработанному алгоритму, необходимо проанализировать поток отказов на исследуемом предприятии (рис. 1).

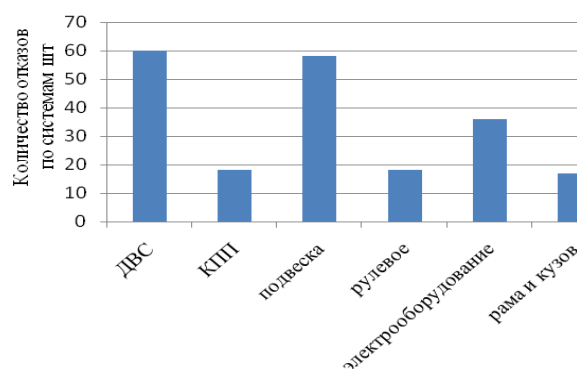


Рис. 1. Анализ потока отказов по всему исследуемому автопарку

В реальной ситуации АТП вынуждено использовать дизельное топливо низкого качества, что приводит к выходу из строя топливных форсунок, датчиков управления двигателем, топливных насосов высокого давления (ТНВД) и других элементов топливной системы, что приводит к выходу из строя ДВС (60 поломок за исследуемый период).

Второй по частоте появления являлась поломка подвески – 58 случаев. Наиболее часто выходили из строя элементы и узлы передней и задней подвески автобусов, агрегаты и узлы пневмосистемы, элементы и части кузова и рамы (особенно краны управления уровня пола). Из-за низкого качества дорог наблюдается обрыв амортизаторов передней и задней подвески автобусов, обрывы кронштейнов крепления двигателя, разрушение силовых ферм заднего моста, обрыв полусей ведущих мостов,

обрыв патрубков системы охлаждения, выход из строя элементов пневмосистемы автобуса. Кроме этого, наблюдались поломки электрооборудования, КПП, рулевого управления и рамы, и кузова.

Анализ структуры потока отказов подвески показал, что 41% отказов приходится на обрыв амортизатора, 24 и 19% связаны с разрушением сайлентблоков и разрывом пневмоподушек. Выходит, что 84% поломок пневмоподвески вызваны резким движением подвески автобуса при попадании колеса в яму (рис. 2).



Рис. 2. Структура потока отказов по подвеске автобусов

При ремонте задней подвески автобуса обращалось внимание на развитие трещин и смятие узлов и деталей. Подтверждение сделанных ранее предположений о превышении допустимых нагрузок при вертикальном перемещении элементов подвески на дорогах с ямами было получено при анализе поломок деталей задней подвески автобуса (рис. 3).



а



б



в

Рис. 3. Элементы задней подвески автобуса: а – место крепления пневматической подушки и амортизатора; б – опорная балка (гитара); в – место разрыва балки

Развитие трещины, показанной на рис. 3, б, привело к выходу из строя гитары. Форма трещины и ее расположение говорит о том, что были превышены усилия по краю гитары, направленные вертикально вниз в месте нахождения пневматической подушки. Излом произошел в месте наибольшего изгибающего момента, находящегося непосредственно у крепления моста. Это может быть вызвано циклическим нагружением этой зоны от совместного действия силы тяжести автобуса с пассажирами и воздействия пневмоподушки, работающей под управлением крана уровня пола.

Разрушение амортизаторов происходило в двух разных направлениях – на разрыв (рис. 4, а) и на сжатие (рис. 4, б). Разорванных амортизаторов значительно больше, что говорит о том, что большинство отказов происходит при резком движении элементов подвески вниз, чему способствует конструкция пневмоподвески с устройством выравнивания уровня пола автобуса.



а



б

Рис. 4. Амортизаторы после поломки: а – при разрыве; б – при сжатии

Правильная работа подвески должна исключать случаи разрыва и сжатия ее элементов, что возможно при целостности пневматических подушек и правильной работе амортизаторов. Как показали исследования такое наблюдается не всегда. Были выявлены дефекты резиновых оболочек подушек, которые приводили к выходу из строя амортизаторов и других деталей подвески.

При проведении анализа условий работы и причин возникновения поломок пневматических подвесок автобусов был определен общий вид используемой пневмоподвески (рис. 5).

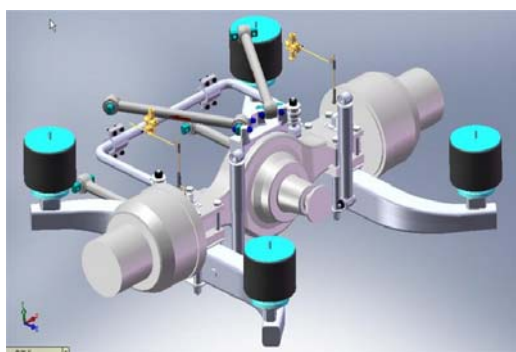


Рис. 5. Вид используемой пневматической подвески заднего моста автобусов

Демфирующими элементами у такого типа подвесок являются четыре пневмоподушки, которые работают совместно с амортизаторами. Мост соединяется с подушками посредством двух продольных балок. Основные характеристики элементов пневмоподвески представлены в табл. 2.

Таблица 2
Характеристика элементов пневмоподвески

Наименование элемента подвески	Резинокордная оболочка, предназначенная для пневморессор автобусов «Икарус»	Амортизатор
Максимальная нагрузка, Н	35000	
Давление, МПа	0,74	2,5...5,0
Максимальный ход на сжатие, мм	95	245 (230)
Максимальный ход на отбой, мм	140	
Габаритные размеры, мм	260×345	450×88
Длина амортизатора, мм		450...695
Максимальная скорость перемещения поршня, м/с		0,3...0,5
Максимальное сопротивление при скорости поршня 0,52 м/с		отбой – 11000 Н; сжатие – 3000 Н

Подобные подвески имеют краны уровня пола, с помощью которых происходит выравнивание последнего при наезде колеса на препятствие или попадании в яму. Главной проблемой любой системы управления является или слишком большое время управления, т.е. временной промежуток между началом управляющего действия и его полного завершения, а при ускорении процесса регулировки – опасность внесения слишком больших изменений, т.е. перерегулировки. Большим преимуществом системы управления краном уровня пола ECAS [3], которая применяется на исследуемых автобусах, является быстрая регулировка уровней пола. Однако из-за большой номинальной ширины магнитных клапанов ECAS иногда может случиться так, что несмотря на быстрое переключение клапана, в пневмобаллоне закачивается слишком большой объем воздуха, что приводит к увеличению уровня на большее, чем требуется, значение. Особенно большую роль при быстром изменении уровня играет работа компенсатора раскачивания. В неподвижном автобусе сила, развиваемая пневмобаллоном подвески, соответствует силе тяжести, действующей на данную сторону оси. При необходимости увеличения уровня в баллон закачивается воздух. При этом давление в баллоне увеличивается: сначала при преодолении инертной массы корпуса, и затем при преодолении сопротивления компенсатора. По достижении целевого уровня и закрытии магнитного клапана излишек давления, бывший необходимым для преодоления сопротивления компенсатора, теперь создает дисбаланс.

Анализ поломок элементов подвески показывает, что наиболее нагруженными узлами являются гидравлические амортизаторы, кронштейны их крепления к раме, пневмоподушки и их площадки, фермы балок мостов подвески. Причем, как показывает практика, в первую очередь нарушается работа амортизатора, из-за попадания колес автомобиля в дорожные ямы. Ухудшение эффективности работы амортизатора и его обрыв приводит к увеличению продольных моментальных нагрузок на пневмоподушки и, как следствие, их критическую деформацию и разрушение.

При расчете усилий, возникающих в элементах пневмоподвески при движении по неровностям дороги, принимаем: ход амортизатора $A_{max} = 240$ мм; диаметр пневмоподушки $d_{pod} = 260$ мм; давление в пневмосистеме $P = 0,74$ МПа; реактивные усилия амортизатора (при $V_{ам} = 0,52$ м/с): при сжатии $F_{сж} = 3000$ Н и при отбое – $F_{отб} = 11000$ Н [4]; масса колеса $m_k = 100$ кг; масса моста $m_m = 725$ кг [5]. Принимаем поддрессоренную массу, приходящуюся на один амортизатор, равную 500 кг.

Сила F_{Σ} , которая воздействует на подвеску при попадании колеса в яму (если будет превышен ход штока амортизатора, то F_{Σ} будет приложена к месту крепления и штоку амортизатора), равна (1):

$$F_{\Sigma} = F_T + F_{выр} + F_{ур.п} - F_p - F_{отб}, \quad (1)$$

где F_T – сила тяжести моста с колесами, Н; $F_{выр}$ – сила действия пневмоподушки подвески для выравнивания автобуса, Н; $F_{ур.п}$ – дополнительная сила действия пневмоподушки подвески при срабатывании крана уровня пола, Н; F_p – сила реакции опоры колеса, Н; $F_{отб}$ – сила отбоя подвески, Н.

Расчеты показывают, что значение для заданных условий $F_T = 38209,2$ Н, при $F_p = 0$ (попадание колеса в яму) приводит к разрыву места крепления амортизаторов, к повреждению пневматических подушек и разрушению других деталей подвески.

Одновременное приложение сил от действия пневмоподушки при попадании колеса в яму, $F_{выр}$ и дополнительной при срабатывании крана уровня пола $F_{ур.п}$ создает предпосылки для резонанса подвески. При касании колеса дорожного покрытия и наличии силы реакции опоры F_p возникновение резонансных явлений невозможно. При отрыве и свободном падении колеса в неровность дорожного покрытия, чему способствуют конструктивные особенности рассматриваемого типа автобусов, явление резонанса может приводить к дополнительным непрогнозируемым нагрузкам на детали и узлы подвески.

Выводы. 1. Существующие органолептические методы и методы объективного контроля для прогнозирования Р и ТО транспортных средств на маршрутах являются малоэффективными, они не способны определить сроки предупредительных ремонтов и своевременной замены узлов и агрегатов, срок службы которых сокращается в разы в реальных условиях эксплуатации.

2. Для минимизации частоты выхода из строя деталей подвески предлагается разработать методику подбора типов этих запасных частей, применительно к реальным дорожным условиям.

3. Необходимо разработать методику предварительного диагностирования наиболее нагруженных узлов и агрегатов транспортных средств, основанную на использовании технологии интеллектуальных информационных систем. Определение сроков предупредительных ремонтов и обслуживания позволит перейти от адаптивных систем диагностирования и прогнозирования к интеллектуальной системе диагностики и прогнозированию выхода из строя узлов и агрегатов автомобиля, условия эксплуатации которых не соответствуют рекомендованным заводом-изготовителем.

Л и т е р а т у р а

1. Денисов И.В. Комплексный показатель оценки надежности систем автомобиля, влияющих на безопасность движения / Ив.В. Денисов, Ил.В. Денисов // Перспективы развития автосервиса: материалы

Междунар. научно-практ. конф. / Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – С. 36-39.

2. Захаров В.П. Изменение технического состояния основных элементов дизелей КамАЗ-Евро в процессе эксплуатации / А.С. Денисов, В.П. Захаров, А.Р. Асоян // Технологические и организационные проблемы сервиса машин и пути их решения: сб. науч. тр. // Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов, 2010. – С. 16-24.

3. Быков Д.С. Моделирование потока отказов специальных автомобилей с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации: дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2006. – 165 с.

4. Аулин В.В., Замота О.Н. Экономическое обоснование эффективности и рентабельности использования транспортных средств на АТП / В.В. Аулин, О.Н. Замота // Вестник инженерной академии Украины. – 2014. – № 3. – С. 151-158.

5. Pennsylvania Transportation Institute, Bus Testing and Research Center. (2010). STURAA Test 12-Year 500,000-Mile Bus from Gillig Model Low Floor (PTI-BT-R0914). Altoona, PA: Penn State University.

References

1. Denisov I.V. Kompleksny'j pokazatel' ocenki nadezhnosti sistem avtomobilya, vliyayushhikh na bezopasnost' dvizheniya / Iv.V. Denisov, Il.V. Denisov // Perspektivy' razvitiya avtoservisa: materialy' Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. / Vladim. gos. un-t. – Vladimir: Izd-vo Vladim. gos. un-ta, 2008. – P. 36-39.

2. Zakharov V.P. Izmenenie tekhnicheskogo sostoyaniya osnovny'kh e'lementov dizelej KamAZ-Evro v processe e'kspluataczii / A.S. Denisov, V.P. Zakharov, A.R. Asoyan // Tekhnologicheskie i organizacionny'e problemy' servisa mashin i puti ikh resheniya: sb. nauch. tr. // Sarat. gos. tekhn. un-t. – Saratov, 2010. – P. 16-24.

3. By'kov D.S. Modelirovanie potoka otkazov speczial'ny'kh avtomobilej s uchetom sezonnoj variaczii intensivnosti i uslovij e'kspluataczii: diss. ... kand. tekhn. nauk. – Tyumen': Tyumenskij gosudarstvenny'j neftegazovy'j universitet, 2006. – 165 p.

4. Aulin V.V., Zamota O.N. E'konomicheskoe obosnovanie e'ffektivnosti i rentabel'nosti ispol'zovaniya transportny'kh sredstv na ATP / V.V. Aulin, O.N. Zamota // Vestnik inzhenernoj akademii Ukraini. – 2014. – № 3. – P. 151-158.

5. Pennsylvania Transportation Institute, Bus Testing and Research Center. (2010). STURAA Test 12-Year 500,000-Mile Bus from Gillig Model Low Floor (PTI-BT-R0914). Altoona, PA: Penn State University.

Zamota T.N., Panayotov K.K., Krupica O.V.

IMPROVING THE VEHICLE MAINTENANCE SYSTEM BY ANALYSIS OF THE FAILURE FLOW AND IDENTIFICATION OF THEIR CAUSES

The article presents the results of the analysis of the technical condition of the rolling stock fleet of the automobile enterprise and the existing systems for diagnosing the condition of cars in real operating conditions. An algorithm for an intelligent car maintenance system is proposed. It is based on continuous monitoring of the condition of their components and assemblies and the development of an intelligent strategy for organizing repairs. This takes into account the failure rate for each unit of the rolling stock fleet.

Key words: *intelligent system of maintenance and repair, unpredictable failure rate, adaptive diagnostic systems, organoleptic methods of vehicle suspension control.*

Замота Тарас Николаевич, д.т.н., проф., зав. кафедры «Автомобильный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: Zamota71@gmail.com

Zamota Taras, Ph.D., head of «Automobile transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Панайотов Константин Константинович, к.т.н., доц., декан Краснодонского факультета инженерии и менеджмента ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: k.panayotov@mail.ru

Panayotov Konstantin, associate Professor, Ph.D., Dean of the Krasnodon faculty of engineering and

management of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Крупница Олег Владимирович, старший преподаватель кафедры информационных технологий и транспорта, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», Краснодонский факультет инженерии и менеджмента.

E-mail: kow1976@mail.ru

Krupitsa Oleg, senior lecturer of the Information Technologies and Transport Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University», Krasnodon Faculty of Engineering and Management.

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, д.т.н., проф., проректор по научной работе и инновационной деятельности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 30.04.2021

УДК 620.179.162

НАСТРОЙКА ФУНКЦИИ ВРЧ ПО ШПОНОЧНОМУ ПАЗУ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МАШИН И АГРЕГАТОВ

Киреев А.Н., Быкадоров В.В., Киреева М.А.

ADJUSTMENT OF THE FUNCTION OF THE TSA BY THE NIGHT SLOT WITH THE ULTRASONIC CONTROL OF PARTS AND UNITS OF MACHINES AND UNITS

Kireev A.N., Bykadorov V.V., Kireeva M.A.

Статья посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи разработки метода настройки функции временной регулировки чувствительности ультразвукового дефектоскопа по шпоночному пазу при диагностировании деталей и узлов машин и агрегатов ультразвуковым эхоимпульсным методом. Представлены основные математические модели, необходимые для разработки данного метода. Разработан математический аппарат для реализации безэталонного метода настройки функции временной регулировки чувствительности по шпоночному пазу. Для автоматизации расчетов при реализации данного метода разработана программа NDTRT TSA keyway».

Ключевые слова: диагностирование, неразрушающий контроль, ультразвуковой контроль, ультразвуковой дефектоскоп, временная регулировка чувствительности, эталонный отражатель, шпоночный паз.

Введение. Акустический неразрушающий контроль [1, 2] на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей стал неотъемлемой частью создания ответственных деталей и узлов машин и агрегатов. Наибольшее распространение среди множества методов акустического контроля получил ультразвуковой эхоимпульсный метод [3].

Постановка задачи. Наиболее ответственной методической операцией в технологическом процессе ультразвукового контроля является настройка ультразвукового дефектоскопа, поскольку дальнейшие операции определения координат и допустимости несплошностей заключаются в сравнении измеренных временных и амплитудных характеристик эхо-сигналов от несплошностей в объекте контроля с параметрами, установленными при настройке.

Проведение настройки сводится к выполнению двух обособленных операций:

- настройка шкалы расстояний ультразвукового дефектоскопа;
- настройка чувствительности ультразвукового дефектоскопа.

Настройка шкалы расстояний заключается в выборе оптимального масштаба видимой части

временной шкалы на экране ультразвукового дефектоскопа. Масштаб должен обеспечивать появление эхо-сигналов от несплошностей в пределах экрана ультразвукового дефектоскопа во всем контролируемом диапазоне.

Цель настройки чувствительности – установка такого усиления в электроакустическом тракте ультразвукового дефектоскопа, которое обеспечивает надежную регистрацию эхо-сигналов от несплошностей минимально допустимого для объекта контроля размера.

Настройка чувствительности ультразвукового дефектоскопа осуществляется на стандартных образцах (мерах) и (или) на настроечных образцах, с выполненными в них искусственными отражателями минимально допустимого в объекте контроля размера, расположенными на разной глубине в диапазоне контроля.

Современные ультразвуковые дефектоскопы, имеющие блок временной регулировки чувствительности (ВРЧ), позволяют выравнивать амплитуду эхо-сигнала от равновеликих отражателей, расположенных на разной глубине в диапазоне контроля.

Однако применение настроечных образцов для настройки функции ВРЧ имеет свои недостатки, описанные в работах [4, 5], снижающие достоверность результатов ультразвукового контроля.

В работах [6-10] предложены методы безэталонной настройки функции ВРЧ при контроле следующих объектов: объект контроля с плоскопараллельными поверхностью ввода ультразвуковой волны и донной поверхностью; цилиндрический объект контроля; цилиндрический объект контроля с центральным цилиндрическим отверстием. При настройке функции ВРЧ используются следующие типы эталонных отражателей: плоскодонный цилиндрический отражатель (модель плоскостной точечной несплошности); полусферический отражатель (модель объемной точечной несплошности).

Однако существуют, объекты контроля со сложной формой донной поверхности, с повышенной шероховатостью донной поверхности, с повышенной волнистостью донной поверхности, с коррозионной изъеденной донной поверхностью и другие случаи, не дающие достоверного отражения от донной поверхности. К таким объектам данные методы настройки функции ВРЧ не применимы. Однако в таких объектах конструктивно может присутствовать шпоночный паз.

Цель статьи. В работе поставлена задача разработки метода безэталонной настройки функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа по шпоночному пазу в объекте контроля.

Основное содержание исследований. Искусственным эталонным отражателем, моделирующим шпоночный паз, является паз с плоским дном (рис. 1).

Амплитуда отражения ультразвуковой волны от паза с плоским дном рассчитывается по схеме [11], представленной на рис. 2.

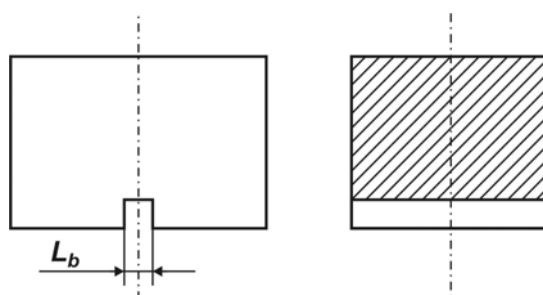


Рис. 1. Паз с плоским дном

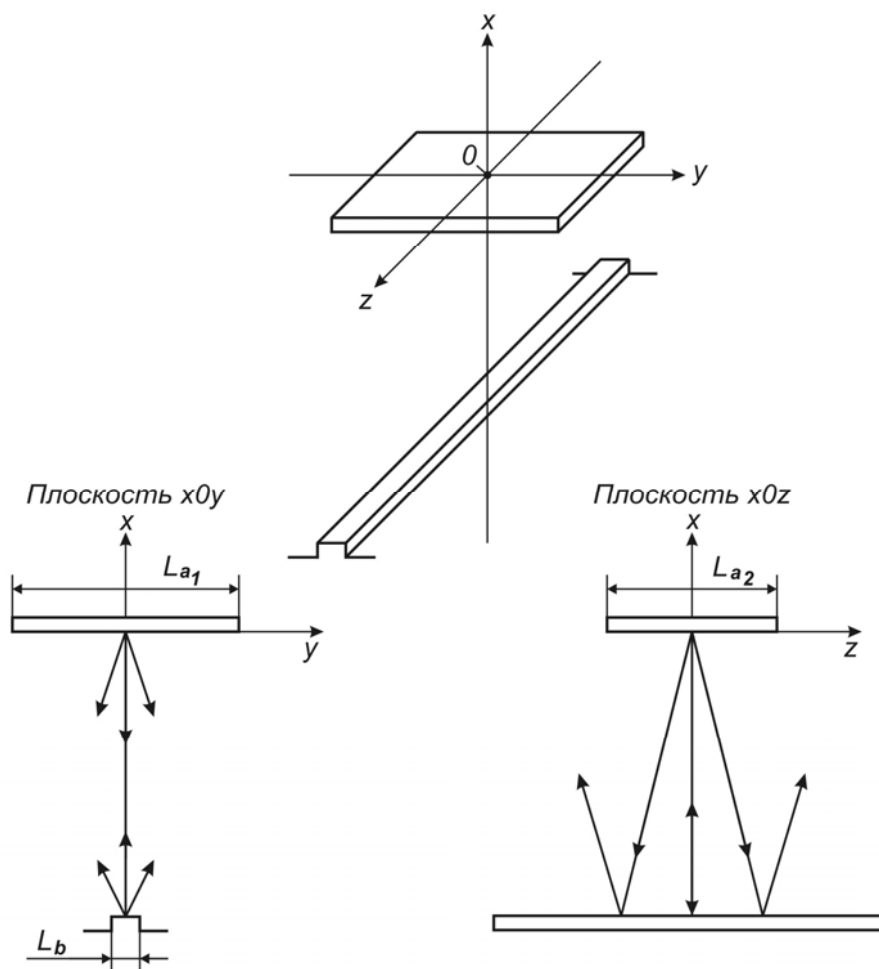


Рис. 2. Схема расчета амплитуды отражения от паза с плоским дном [11]

Амплитуда N_{Π} (дБ) отражения ультразвуковой волны от паза с плоским дном описывается аналитической зависимостью:

$$N_{\Pi} = 20 \lg \left(\frac{S_a L_b}{\sqrt{2(\lambda x_{\Pi})^3}} e^{-2\delta x_{\Pi}} \right), \quad (1)$$

где: S_a – площадь пьезоэлектрического преобразователя, мм²; L_b – ширина паза с плоским дном, мм²; λ – длина ультразвуковой волны, мм; x_{Π} – расстояние от поверхности ввода ультразвуковой волны до паза с плоским дном, мм; δ – коэффициент затухания ультразвуковой волны, Нп/мм.

Из выражения (1) находим аналитическую зависимость для расчета коэффициента затухания ультразвуковой волны по измеренной амплитуде эхо-сигнала от паза с плоским дном (шпоночного паза):

$$\delta = - \frac{\ln \left(\frac{10^{N_{\Pi}/20} \sqrt{2(\lambda x_{\Pi})^3}}{S_a L_b} \right)}{2x_{\Pi}}. \quad (2)$$

Настройка функции ВРЧ при использовании в качестве эталона плоскодонного цилиндрического отражателя и учете затухания по шпоночному пазу

Амплитуда отражения ультразвуковой волны от плоскодонного цилиндрического отражателя (рис. 3) описывается аналитической зависимостью [11]:

$$N = 20 \lg \left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} e^{-2\delta x} \right), \quad (3)$$

где: S_b – площадь плоскодонного цилиндрического отражателя, мм²; x – расстояние до отражателя, мм.

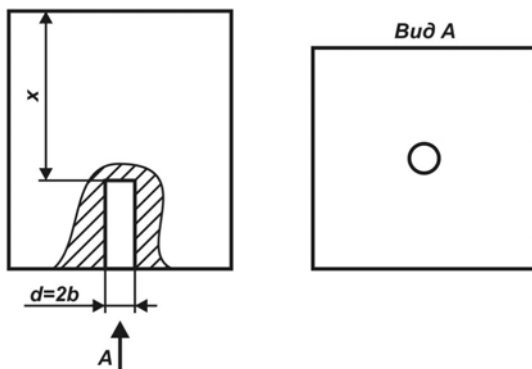


Рис. 3. Плоскодонный цилиндрический отражатель

Воспользовавшись аналитическими зависимостями (2) и (3), получаем аналитическую зависимость для расчета коэффициента усиления k_{yc} (дБ) ультразвукового дефектоскопа при настройке функции ВРЧ:

$$k_{yc} = \left| 20 \lg \left(\left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x_k^2} \right) \left(\frac{10^{N_{\Pi}/20} \sqrt{2(\lambda x_{\Pi})^3}}{S_a L_b} \right)^{x_k/x_{\Pi}} \right) \right|, \quad (4)$$

где x_k – конечная точка настройки функции ВРЧ, мм.

Для расчета уровня ВРЧ $k_{ВРЧ}$ (дБ) используется выражение:

$$k_{ВРЧ} = N_{ВРЧ} - N_k, \quad (5)$$

где $N_{ВРЧ}$ – амплитуда эхо-сигнала от плоскодонного цилиндрического отражателя в точке настройки функции ВРЧ, дБ; N_k – амплитуда эхо-сигнала от плоскодонного цилиндрического отражателя в конечной точке настройки функции ВРЧ, дБ.

Воспользовавшись выражениями (2), (3) и (5) получаем аналитическую зависимость для расчета уровня ВРЧ ультразвукового дефектоскопа при настройке функции ВРЧ:

$$k_{ВРЧ} = 20 \lg \left(\frac{x_k^2}{x_{ВРЧ}^2} \left(\frac{10^{N_{\Pi}/20} \sqrt{2(\lambda x_{\Pi})^3}}{S_a L_b} \right)^{(x_{ВРЧ} - x_k)/x_{\Pi}} \right). \quad (6)$$

Начальная точка настройки функции ВРЧ $x_{н.ВРЧ}$ (мм) выбирается из условия:

$$x_{н.ВРЧ} > \frac{S_a}{\pi \lambda}. \quad (7)$$

Конечная точка настройки функции ВРЧ выбирается конкретно для каждого контролируемого объекта, но не менее 10 мм от отражающей поверхности.

Настройка функции ВРЧ при использовании в качестве эталона полусферического отражателя и учете затухания по шпоночному пазу

Амплитуда отражения ультразвуковой волны от плоскодонного цилиндрического отражателя (рис. 4) описывается аналитической зависимостью [11]:

$$N = 20 \lg \left(\frac{S_a d_{псo}}{4\lambda x^2 \left(1 + \frac{d_{псo}}{2x} \right)} e^{-2\delta x} \right), \quad (8)$$

где $d_{псo}$ – диаметр полусферического отражателя.

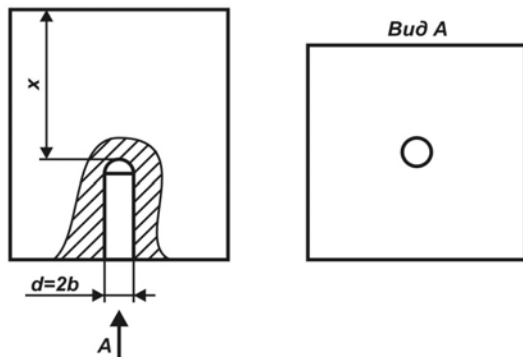


Рис. 4. Полусферический отражатель

Воспользовавшись аналитическими зависимостями (2) и (8), получаем аналитическую зависимость для расчета коэффициента усиления k_{yc} (дБ) ультразвукового дефектоскопа при настройке функции ВРЧ:

$$k_{yc} = 20 \lg \left(\frac{S_a d_{псо}}{4 \lambda x_k^2 \left(1 + \frac{d_{псо}}{2 x_k} \right)} \times \left(\frac{10^{N_n/20} \sqrt{2(\lambda x_{п})^3}}{S_a L_b} \right)^{x_k/x_{п}} \right). \quad (9)$$

Воспользовавшись выражениями (2), (5) и (8) получаем аналитическую зависимость для расчета уровня ВРЧ ультразвукового дефектоскопа при настройке функции ВРЧ:

$$k_{ВРЧ} = 20 \lg \left(\frac{x_k (2x_k - d_{псо})}{x_{ВРЧ} (2x_{ВРЧ} - d_{псо})} \times \left(\frac{10^{N_n/20} \sqrt{2(\lambda x_{п})^3}}{S_a L_b} \right)^{(x_{ВРЧ} - x_k)/x_{п}} \right). \quad (10)$$

Выбор начальной и конечной точек ВРЧ осуществляется также как и в случае с применением плоскодонного цилиндрического отражателя.

Программа для автоматизации расчетов при настройке функции ВРЧ.

Для автоматизации расчетов при применении безэталонного метода настройки функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа по шпоночному пазу была разработана программа «NDTRT TSA keyway». Окна программы представлены на рис. 5-7.

Программа состоит из двух блоков:

«Блок 1 ПЦО» – блок настройки функции ВРЧ с применением в качестве эталона плоскодонного цилиндрического отражателя;

«Блок 2 ПСО» – блок настройки функции ВРЧ с применением в качестве эталона полусферического отражателя.

По введенным характеристикам пьезоэлектрического преобразователя, параметров объекта контроля и эталонного отражателя программа рассчитывает параметры настройки функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа.

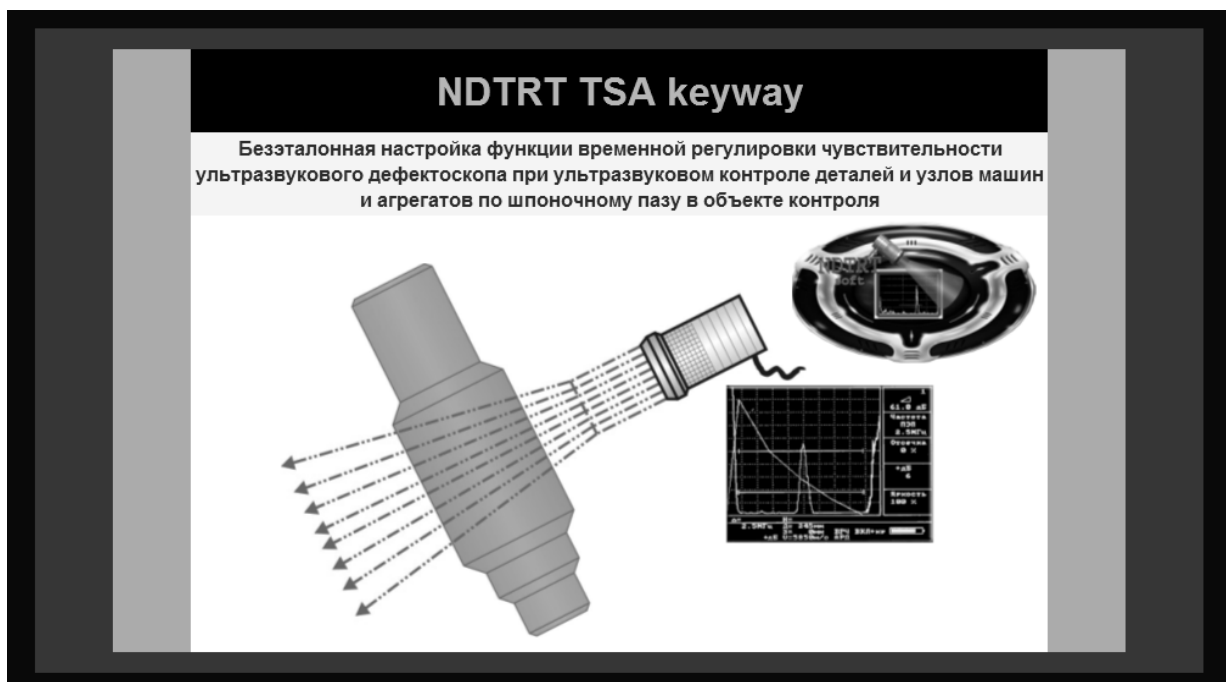


Рис. 5. Загрузочное окно программы «NDTRT TSA keyway»

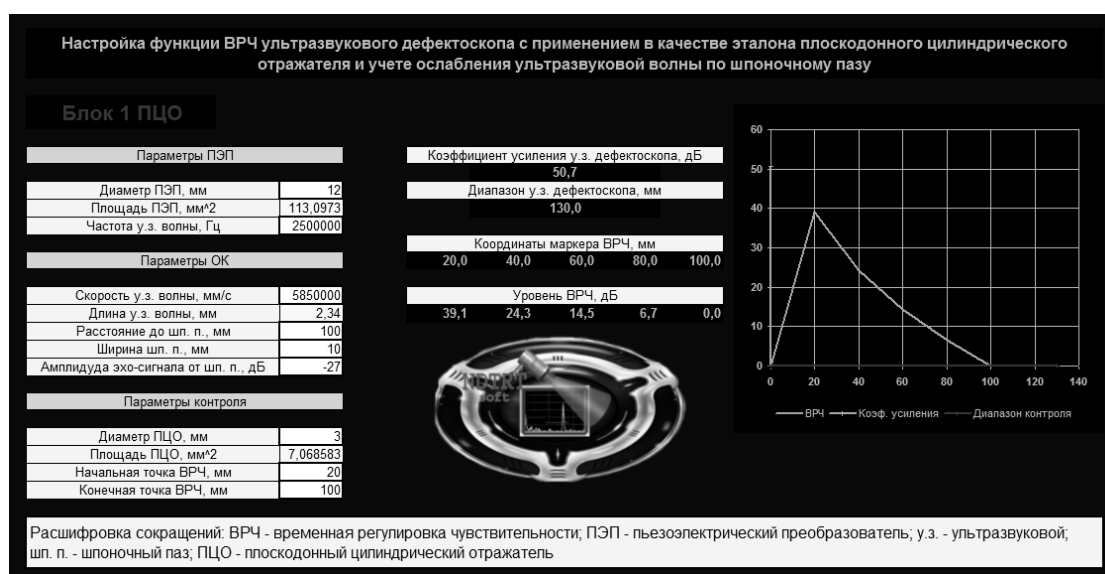


Рис. 6. Окно (Блок 1 ПЦО) программы «NDTRT TSA keyway»

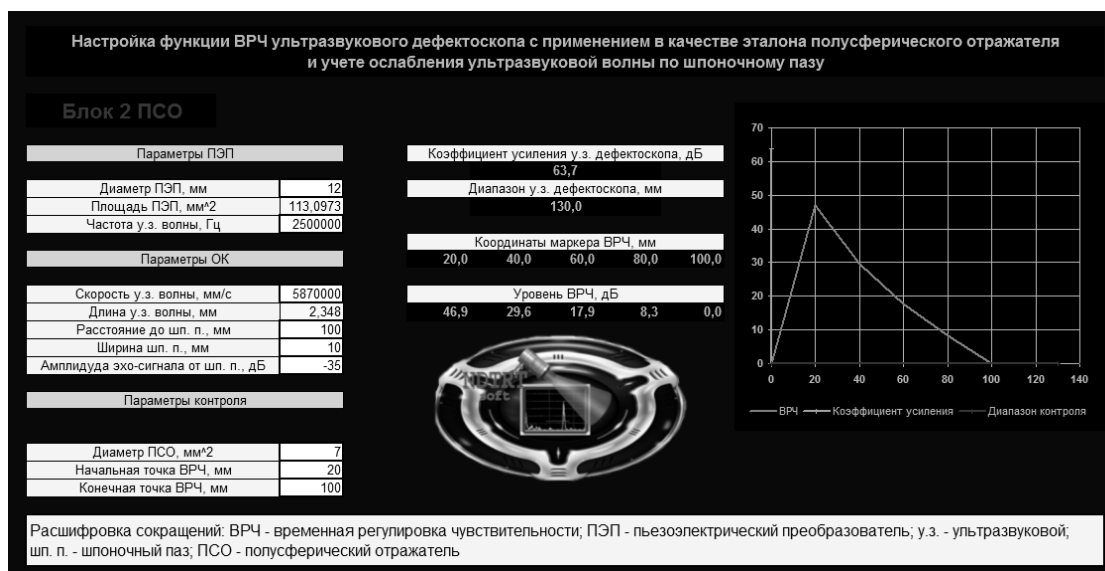


Рис. 7. Окно (Блок 1 ПСО) программы «NDTRT TSA keyway»

Выводы. В статье решена актуальная научно-прикладная задача безэталонной настройки функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа при применении в качестве эталонных отражателей плоскодонного цилиндрического отражателя и полусферического отражателя, а также учета затухания ультразвуковой волны по шпоночному пазу в объекте контроля.

Безэталонная настройка функции ВРЧ позволяет избавиться от недостатков применения настроечных образцов с искусственными отражателями.

Разработан математический аппарат для реализации данного метода безэталонной настройки функции ВРЧ. Для автоматизации расчетов при реализации данного метода разработана программа «NDTRT TSA keyway».

Л и т е р а т у р а

1. Алешин Н.П. Методы акустического контроля металлов / Н.П. Алешин, В.Е. Белый. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.
2. Капранов Б.И. Акустические методы контроля и диагностики. Часть 1: Учебное пособие / Б.И. Капранов, М.М. Коротков. – Томск: изд-во ТПУ, 2008. – 186 с.
3. Ермолов И.Н. Физические основы эхо и теневого метода ультразвуковой дефектоскопии / И.Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 1970. – 108 с.
4. Киреев А.Н. Дефектометрия при ультразвуковом диагностировании элементов и систем подвижного состава железных дорог: Монография / А.Н. Киреев. – Луганск: Изд-во «Нолудж», 2016. – 147 с.
5. Киреев А.Н. Совершенствование ультразвукового контроля осей колесных пар подвижного состава железных дорог / А.Н. Киреев, В.А. Витренко // Вестник ВНИИЖТ. – М.: 2016. – Том 75. – № 2. – С. 116-122.

6. Киреев А.Н. Настройка функции ВРЧ ультразвуковой аппаратуры при диагностировании элементов экипажной части подвижного состава железных дорог / А.Н. Киреев // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – Екатеринбург: 2016. – № 1 (29). – С. 23-29.

7. Киреев А.Н. Экспериментальные исследования безэталонных методов отстройки функции ВРЧ при ультразвуковом контроле деталей ПСЖД / А.Н. Киреев, В.А. Витренко // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – Екатеринбург: 2017. – № 4 (36). – С. 56-66.

8. Киреев А.Н. Настройка функции ВРЧ с применением специфических АРД-диаграмм при ультразвуковом контроле катаных колесных центров подвижного состава железных дорог / А.Н. Киреев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск, 2018. – № 1 (57). – С. 140-147.

9. Киреев А.Н. Безэталонные методы настройки функции временной регулировки чувствительности при ультразвуковом контроле деталей и узлов подвижного состава железных дорог / А.Н. Киреев // Вестник Ростовского Государственного университета путей сообщения. – Ростов на Дону, 2018. – № 2 (70). – С. 21-28.

10. Киреев А.Н. Усовершенствование ультразвукового диагностирования цилиндрических элементов подвижного состава железных дорог с центральным отверстием / А.Н. Киреев, В.И. Додонов, Л.Н. Беспалова // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – Луганск, 2018. – № 3 (9). – С. 46-50.

11. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.

References

1. Aleshin N.P. Metody akusticheskogo kontrolja metallov / N.P. Aleshin, V.E. Belyj. – М.: Mashinostroenie, 1989. – 456 p.

2. Kapranov B.I. Akusticheskie metody kontrolja i diagnostiki. Chast' 1: Uchebnoe posobie / B.I. Kapranov, M.M. Korotkov. – Tomsk: izd-vo TPU, 2008. – 186 p.

3. Ermolov I.N. Fizicheskie osnovy jeha i tenevogo metoda ul'trazvukovoj defektoskopii / I.N. Ermolov. – М.: Mashinostroenie, 1970. – 108 p.

4. Kireev A.N. Defektometrija pri ul'trazvukovom diagnostirovanii jelementov i sistem podvizhnogo sostava zheleznyh dorog: Monografija / A.N. Kireev. – Lugansk: Izd-vo «Noulidzh», 2016. – 147 p.

5. Kireev A.N. Sovershenstvovanie ul'trazvukovogo kontrolja osey kolesnyh par podvizhnogo sostava zheleznyh dorog / A.N. Kireev, V.A. Vitrenko // Vestnik VNIIZhT. – М.: 2016. – Tom 75 – № 2 – P. 116-122.

6. Kireev A.N. Nastrojka funkicii VRCh ul'trazvukovoj apparatury pri diagnostirovanii jelementov jekipazhnoj chasti podvizhnogo sostava zheleznyh dorog / A.N. Kireev // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija. – Ekaterinburg: 2016. – № 1 (29) – P. 23-29.

7. Kireev A.N. Jeksperimental'nye issledovanija bezjetalonnih metodov otstrojki funkicii VRCh pri ul'trazvukovom kontrole detalей PSZhD / A.N. Kireev, V.A. Vitrenko // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija. – Ekaterinburg: 2017. – № 4 (36) – P. 56-66.

8. Kireev A.N. Nastrojka funkicii VRCh s primeneniem specificheskikh ARD-diaqramm pri ul'trazvukovom kontrole

katanyh kolesnyh centrov podvizhnogo sostava zheleznyh dorog / A.N. Kireev // Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. – Irkutsk, 2018. – № 1 (57). – P. 140-147.

9. Kireev A.N. Bezjetalonnnye metody nastrojki funkicii vremennoj regulirovki chuvstvitel'nosti pri ul'trazvukovom kontrole detalей i uzlov podvizhnogo sostava zheleznyh dorog / A.N. Kireev // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija. – Rostov na Donu, 2018. – № 2 (70) – P. 21-28.

10. Kireev A.N. Usovershenstvovanie ul'trazvukovogo diagnostirovanija cilindricheskikh jelementov podvizhnogo sostava zheleznyh dorog s central'nym otverstiem / A.N. Kireev, V.I. Dodonov, L.N. Bespalova // Vestnik Luganskogo nacional'nogo universiteta imeni Vladimira Dalja. – Lugansk, 2018. – № 3 (9) – P. 46-50.

11. Ermolov I.N. Teorija i praktika ul'trazvukovogo kontrolja / I.N. Ermolov – М.: Mashinostroenie, 1981. – 240 p.

Kireev A.N., Bykadorov V.V., Kireeva M.A.

ADJUSTMENT OF THE FUNCTION OF THE TSA BY THE NIGHT SLOT WITH THE ULTRASONIC CONTROL OF PARTS AND UNITS OF MACHINES AND UNITS

The article is devoted to solving an urgent scientific and applied problem of developing a method for adjusting the function of temporal adjustment of the sensitivity of an ultrasonic flaw detector along a keyway when diagnosing parts and assemblies of machines and assemblies by the ultrasonic echo pulse method. The basic mathematical models necessary for the development of this method are presented. A mathematical apparatus has been developed for the implementation of a standardless method for setting the function of temporal adjustment of the sensitivity along the keyway. To automate calculations in the implementation of this method, the NDTRT TSA keyway program has been developed.

Key words: diagnostics, nondestructive control, ultrasonic control, ultrasonic flaw detector, temporary sensitivity adjustment, reference reflector, keyway.

Киреев Андрей Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: lifter_23@mail.ru

Kireev Andrey, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Railway Transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: lifter_23@mail.ru

Быкадоров Вадим Викторович, канд. техн. наук, директор института транспорта и логистики, заведующий кафедрой «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: 311transport@gmail.com

Bykadorov Vadim, candidate of technical sciences, director of the Institute of Transport and Logistics, Head of the «Railway Transport» Department of State Educational

Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: 311transport@gmail.com

Киреева Маргарита Анатольевна, аспирант кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: kmagt@mail.ru

Kireeva Margarita, graduate student of the «Railway Transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: kmagt@mail.ru

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, д-р техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 29.03.2021

УДК 621.4: 006.72

ПОРЯДОК ПОСТАНОВКИ НА ПРОИЗВОДСТВО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА, ЭКСПЛУАТИРУЮЩЕГОСЯ НА ИНФРАСТРУКТУРЕ ОАО «РЖД», МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ (ИЗГОТОВИТЕЛЕМ) ПО КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДРУГОГО РАЗРАБОТЧИКА

Киреев А.Н., Дмитриенко А.Б., Атрошенко Д.В.

THE PROCEDURE FOR PUTTING INTO PRODUCTION ROLLING STOCK AND COMPONENTS PARTS OF RAILWAY ROLLING STOCK OPERATING ON INFRASTRUCTURE OF OJSC "RUSSIAN RAILWAYS", A MACHINE-BUILDING ENTERPRISE (MANUFACTURER) ACCORDING TO THE DESIGN DOCUMENTATION OF ANOTHER DEVELOPER

Kireev A.N., Dmitrienko A.B., Atroshenko D.V.

Статья посвящена рассмотрению организации комплекса работ по постановке на производство продукции подвижного состава и его составных частей машиностроительным предприятием по конструкторской документации другого разработчика (в большей степени составных частей железнодорожного подвижного состава). Разработанная система постановки на производство имеет задачей обеспечение готовности производства к выпуску изделий в заданном объеме, соответствующих требованиям конструкторской документации. Практическую значимость статья имеет для организации работ, определения взаимодействия участников работы (изготовителя, разработчика и заказчика) между собой и со структурными подразделениями ОАО «РЖД».

Ключевые слова: изделия, комплектующие, конструкторская и техническая документация, подвижной состав, квалификационная комиссия, изготовитель, метрологическая экспертиза.

Введение. В современных экономических условиях производители железнодорожной техники вынуждены строить экономику предприятия в оптимальных условиях с целью получения максимального результата. Зачастую оказывается более выгодным вместо организации собственного производства всех входящих узлов и деталей частично применять покупные комплектующие изделия для использования в составе готового изделия. В такой ситуации производитель заинтересован в высоком качестве и соответствии стандартам и технической документации покупных изделий. В свою очередь конечный потребитель – ОАО «РЖД» не только заинтересован в вышеперечисленном, но и обязан обеспечить в первую очередь безопасность железнодорожных

перевозок. Это должно обеспечиваться, в том числе и соответствием подвижного состава и его составных частей предъявляемым к ним техническим требованиям. С целью подтверждения выполнения данных требований разработана система постановки на производство. Выполнение производителями ее требований является актуальной задачей в современной экономике.

Цель работы системы постановки на производство и есть в конечном итоге обеспечение работы железнодорожного транспорта с наилучшими экономическими показателями, а главное – обеспечение безопасности железнодорожных перевозок. Система выстроена для недопущения в обращение изделий, не соответствующих предъявляемым требованиям.

Изложение основных материалов. В Российской Федерации порядок постановки на производство продукции производственно-технического назначения (в общем случае) регламентируется ГОСТ Р 15.301-2016 [1]. Для продукции, предназначенной для эксплуатации на железнодорожных путях ОАО «РЖД» (подвижной состав (ПС) и его составные части (СЧ)), необходимо руководствоваться требованиями ГОСТ 15.902-2014 [2].

Стандарт ГОСТ 15.902-2014 [2] предусматривает все случаи и алгоритмы действий по постановке на производство продукции, как при разработке новой конструкции, так и в случае постановки на производство продукции (ПС и СЧ) машиностроительным предприятием по конструкторской документации другого разработчика. Последняя ситуация является темой данной статьи.

В соответствии с ГОСТ 15.902-2014 [2] подготовку и освоение производства осуществляют для обеспечения готовности производства к изготовлению и выпуску (поставке) вновь разработанного (модернизированного, модифицированного) ПС (СЧ) в заданном объеме, соответствующего требованиям конструкторской документации.

При создании производства ПС (СЧ), ранее освоенного другим изготовителем, выполняются мероприятия по подготовке и освоению производства в соответствии с порядком, изложенным ниже.

При выполнении постановки на производство изготовитель проводит все необходимые работы и процедуры, обеспечивающие подготовку и освоение производства. Условно алгоритм работ можно разделить на этапы: подготовку производства, освоение производства, испытания изделий установочной серии продукции, оценку результатов, принятие решения о достаточности проведенных работ и о технологической готовности производства к выпуску осваиваемой продукции.

Начальный этап – подготовка производства. На этом этапе изготовитель выполняет следующие работы:

- отработка технологии изготовления с учетом особенностей конструкции и предъявляемых технических требований – разработка технологической документации;

- разработка карт измерений, технологических карт, технологических паспортов и т.п. с внесением в них наиболее важных параметров (геометрических, физических, химических и др.) для измерения и контроля в процессе изготовления;

- метрологическая экспертиза ТД для изготовления ПС (СЧ) на основе анализа ТД в части применения средств измерения, контроля и испытаний на предмет их правильного выбора и использования для обеспечения точности и достоверности результатов измерений и контроля;

- комплекс работ, необходимость которых определяется имеющейся на предприятии базой и требуемой для обеспечения производства – проведение технологической подготовки производства ПС (СЧ);

- получение КД с литерой не ниже "О₁", как правило, на договорной основе, что регулирует все возможные, в т.ч. имущественные спорные ситуации и разногласия, вопросы соблюдения конфиденциальности информации;

- приобретение средств технологического оснащения и технической документации на них (проводится, как правило, при достаточной степени уверенности производителя в осуществлении организации постановки на производство изделий и поставки их заказчику);

- анализ и расчет имеющихся производственных мощностей изготовителя для организации стабильного производства ПС (СЧ) в

заданном объеме с целью осуществления ТПП в планируемые сроки, необходим для оценки имеющихся производственных мощностей, а также оценки перспективного развития производства;

- при необходимости оборудование новых специализированных участков;

- освоение новых технических средств – оборудования, средств измерений, контроля и т.п., при необходимости обучение и повышение квалификации персонала;

- аттестация испытательного оборудования, поверка (калибровка) средств измерений, аттестация методик, инструкций измерений, используемых при испытаниях ПС (СЧ);

- отработка конструкции на технологичность для снижения себестоимости и трудоемкости выполнения процессов изготовления;

- изготовление, отладка, испытания и аттестация разработанных средств технологического оснащения для изготовления и контроля, а также специальных средств, используемых для испытаний ПС (СЧ), – процесс, необходимый для обеспечения технологичности и точности изготовления для соответствия требованиям КД;

- оформление договоров с поставщиками, приобретение необходимых материалов.

Освоение производства – следующий этап. Изготовитель начинает освоение производства ПС (СЧ) после окончания подготовки производства в следующей последовательности.

При освоении производства ПС (СЧ):

- изготавливают изделия установочной серии в соответствии с требованиями КД литеры "О₁" или выше и разработанного собственного технологического процесса (на базе имеющегося оборудования, оснастки и персонала) для изготовления ПС (СЧ) по ТД литеры " О₁" или выше;

- выполняют приемку каждой единицы изготовленных изделий;

- разрабатывают и согласовывают программы и методики квалификационных испытаний с учетом специфики конструкции изделия и требований нормативных документов;

- проводят квалификационные испытания в соответствии с разработанной программой и методикой. Цель квалификационных испытаний – проверка и оценка технологии, которая должна обеспечивать стабильное изготовление изделий, соответствующих КД в необходимых объемах;

- дальнейшая отработка на технологичность, совершенствование технологии.

Результаты исследований. Программа и методики квалификационных испытаний должны содержать:

- число испытываемых единиц изделия. Если изделие имеет различные исполнения, то должно быть оговорено количество единиц каждого исполнения, подвергаемых испытаниям;

– виды испытаний, указанные в нормативных документах (при наличии) и КД на ПС (СЧ), методы проведения испытаний и проверок (стандартизированные методы должны быть приоритетными, в случае их отсутствия разрабатываются методы с учетом опыта и квалификации испытательной организации с приложением необходимых расчетов и обоснований, подтверждающих правильность выбора методов);

– условия для испытаний, место их проведения (оговаривают критерии условий, при которых испытания не проводят, при наличии таких требований);

– оценку результатов испытаний по выбранным критериям;

– перечень предоставляемых комиссии материалов и документов.

Изготовитель разрабатывает и утверждает программу и методики квалификационных испытаний, согласовывает держатель подлинников КД и владелец инфраструктуры. Для согласования программы и методик с владельцем инфраструктуры (в случае если это – ОАО «РЖД») необходимо обратиться в департамент технической политики ОАО «РЖД». Для рассмотрения вопроса согласования программы и методик необходимо предоставить согласованные с держателем подлинников КД программу и методики, комплект КД и документы, подтверждающие законность получения КД и ее абонентского обслуживания, а также другие документы при необходимости. Департамент технической политики ОАО «РЖД», как правило, рассматривает материалы и привлекает к рассмотрению другие организации – структурные подразделения ОАО «РЖД» (в большинстве случаев это дирекция тяги, проектно-конструкторское бюро и центр технического аудита ОАО «РЖД»). После рассмотрения всеми подразделениями Департамент технической политики ОАО «РЖД» готовит консолидированный ответ о согласовании программы и методик.

Организация работы квалификационной комиссии заключается в следующем:

Изготовитель отбирает образцы из прошедших приемосдаточные испытания и контроль изделий для проведения квалификационных испытаний.

Изготовитель письменно уведомляет всех участников квалификационной комиссии и заинтересованные стороны о готовности к проведению квалификационных испытаний, организывает и обеспечивает их проведение и работу квалификационной комиссии.

В работе квалификационной комиссии участвуют представители: держателя подлинника конструкторской документации, изготовителя, владельца инфраструктуры и потребителя. Председателем комиссии назначают представителя изготовителя ПС (СЧ). Для формирования состава квалификационной комиссии изготовитель

письменным обращением запрашивает кандидатуры для включения в квалификационную комиссию от организаций – участников квалификационной комиссии, издает приказ о назначении квалификационной комиссии. В приказе оговариваются состав комиссии, ее задачи и обязанности.

Изготовитель ПС (СЧ) должен представить на рассмотрение квалификационной комиссии изготовленные образцы и следующую документацию:

– программу и методики квалификационных испытаний;

– образцы (изделия установочной серии), прошедшие приемку, отобранные и признанные годными для проведения квалификационных испытаний;

– средства испытаний, контроля и измерений, задействованные в испытаниях, и документы, подтверждающие их годность;

– КД и ТД и сведения об изменениях, сделанных в процессе подготовки и освоения производства;

– сведения о технологической готовности к освоению производства, годности средств испытаний, контроля и измерений, данные о забраковании в процессе изготовления и приемки, верификации комплектующих изделий и материалов, количестве изготовленных единиц изделий предоставляет изготовитель в виде подготовки соответствующих справок;

– результаты испытаний, оформленные протоколами квалификационных испытаний, содержащих данные об измеренных (приведенных по данным сертификатов, паспортов качества и т.п. на заготовки и используемые материалы) показателях, предусмотренных программой и методикой испытаний, средствах измерительной техники и испытательном оборудовании, используемом при квалификационных испытаниях. Как правило, в протоколы включают копии документов, подтверждающих годность СИТ и ИО, копии сертификатов качества и др. документы в качестве доказательных.

Квалификационная комиссия рассматривает представленные материалы, дает оценку их полноты и достаточности. Оценивает подготовку производства, наличие средств, необходимых для обеспечения технологии изготовления. Результатом работы квалификационной комиссии является комплексная оценка проведенных работ по подготовке производства и его результатов – изготовленных изделий.

Положительные результаты квалификационных испытаний выносит комиссия, если изделия выдержали испытания по всем пунктам, предусмотренным программой квалификационных испытаний, и дана положительная оценка технологической оснащенности производства и стабильности

технологии изготовления, обеспечивающей изготовление изделий в заданном объеме и в полном соответствии с требованиями КД.

Отрицательная оценка – если хотя бы по одному пункту из предусмотренных программой квалификационных испытаний есть претензии и (или) дана отрицательная оценка технологической готовности предприятия для возможности выпуска ПС (СЧ) в заданном объеме. Комиссия составляет акт, в котором указывает причины отрицательных результатов.

Изготовителем совместно с держателем КД разрабатываются и реализовываются мероприятия по устранению выявленных недостатков.

По завершении выполнения мероприятий проводят повторные квалификационные испытания изготовленных вновь или доработанных единиц ПС (СЧ).

Положительные результаты квалификационных испытаний ПС (СЧ) (приемки установочной серии) оформляют актом квалификационной комиссии по форме, приведенной в приложении Г в ГОСТ 15.902-2014 [2].

В акте квалификационной комиссии приводят:

- соответствие изделий установочной серии, прошедших квалификационные испытания, требованиям КД и НД;

- оценку готовности изготовителя к выпуску изделий, обеспечиваемой разработанной и освоённой технологией.

Выводы. Комплекс работ по постановке на производство разрабатывался и совершенствовался научными и производственными организациями, учитывались опыт и наработки в экономике других стран. Разработанная система постановки на производство имеет задачей обеспечение готовности производства к выпуску изделий в заданном объеме, соответствующих требованиям конструкторской документации.

В статье подробно исследован порядок работ по постановке на производство подвижного состава и его составных частей. Практическую значимость статья имеет для организации работ, определения взаимодействия участников работы (изготовителя, разработчика и заказчика) между собой и со структурными подразделениями ОАО «РЖД». Описаны все этапы работ, их особенности и практическое выполнение.

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ Р 15.301-2016 Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. – М.: Стандартинформ. Переиздание 2018 г.

2. ГОСТ 15.902-2014 Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Железнодорожный подвижной состав. Порядок разработки и постановки на производство (с Изменением

№ 1). – М.: Стандартинформ. Издание (апрель 2019 г.) с Изменением № 1 (ИУС 2-2019).

3. ГОСТ 24297-2013 Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля (с Поправкой). – М.: Стандартинформ. Переиздание. Февраль 2019 г.

4. ГОСТ 15.309-98 Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения. – М.: Стандартинформ. Переиздание. Август 2010 г.

References

1. GOST R 15.301-2016 System for the development and launch of products. Products for industrial and technical purposes. The procedure for the development and launch of products for production. – M.: Standartinform. Reprinted 2018.

2. GOST 15.902-2014 System for the development and launching of products (SRPP). Railway rolling stock. The order of development and putting into production (with Amendment No. 1). – M.: Standartinform. Edition (April 2019) with Amendment № 1 (IUS 2-2019).

3. GOST 24297-2013 Verification of purchased products. Organization and methods of control (as amended). – M.: Standartinform. Reissue. February 2019.

4. GOST 15.309-98 System for the development and launch of products (SRPP). Testing and acceptance of manufactured products. Basic provisions. – M.: Standartinform. Reissue. August 2010.

Kireev A.N., Dmitrienko A.B., Atroshenko D.V.
THE PROCEDURE FOR PUTTING INTO PRODUCTION ROLLING STOCK AND COMPONENTS PARTS OF RAILWAY ROLLING STOCK OPERATING ON INFRASTRUCTURE OF OJSC "RUSSIAN RAILWAYS", A MACHINE-BUILDING ENTERPRISE (MANUFACTURER) ACCORDING TO THE DESIGN DOCUMENTATION OF ANOTHER DEVELOPER

The article is devoted to the consideration of the organization of a complex of works on launching production of rolling stock and its component parts by a machine-building enterprise according to the design documentation of another developer (to a greater extent, components of railway rolling stock). The developed system of putting into production has the task of ensuring the readiness of production for the release of products in a given volume that meet the requirements of design documentation. The article is of practical importance for organizing work, determining the interaction of work participants (manufacturer, developer and customer) with each other and with the structural divisions of OJSC "Russian Railways".

Key words: products, components, design and technical documentation, rolling stock, qualification commission, manufacturer, metrological expertise.

Киреев Андрей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: lifter_23@mail.ru

Kireev Andrey, Dr. Sci. (Eng.), professor of the "Railway transport" Department of State Educational

Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: lifter_23@mail.ru

Дмитриенко Александр Борисович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: a.dmitrienko71@mail.ru

Dmitrienko Alexandr, senior lecturer of the "Railway transport" Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: a.dmitrienko71@mail.ru

Атрошенко Денис Валерьевич, ассистент кафедры «Автомобильный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: denis_mihalich@mail.ua

Atroshenko Denis, assistant of the "Automobile transport" Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: denis_mihalich@mail.ua

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновационной деятельности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 22.03.2021

УДК 519.854.2

АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА ПРИ МАРШРУТИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Косоногова Л.Г., Королёва А.А., Дубасов А.В.

ANALYSIS OF THE OPTIMUM DISTRIBUTION OF TRANSPORT FLOW WHEN ROUTING THE NUMBER OF VEHICLES

Kosonogova L.G., Koroleva A.A., Dubasov A.V.

В статье был рассмотрен транспортный поток при маршрутизации транспортных средств. Рассматриваются системы математических моделей, позволяющие решать проблемы при оптимальном планировании работы транспортных систем. По построенным моделям рассчитываются необходимое количество маршрутных такси для перевозки населения по одному маршруту при оптимальном соотношении времени перевозки всех пассажиров, прибыль перевозчика и стоимость проезда.

Ключевые слова: система, оптимизация, транспорт, дорога, автомобиль, маршрутизация, транспортная сеть.

Введение. Транспортная система в наиболее общем случае – это образующая связанное целое совокупность работников, транспортных средств и оборудования, элементов транспортной инфраструктуры и инфраструктуры субъектов перевозки, включая систему управления, направленная на эффективное перемещение грузов и пассажиров. Основным требованием транспорта является полное и своевременное удовлетворение потребностей народного хозяйства и населения в перевозках, ускорение доставки грузов и передвижения пассажиров на основе существенного повышения мощности и качества работы всей транспортной системы, в том числе рациональном распределении транспортных потоков по существующей улично-дорожной сети. Наряду с незначительными затратами, по сравнению с усовершенствованием дорожной сети, распределение транспортных потоков позволяет повысить эффективность использования существующей сети путем рациональной загрузки ее движением, предотвратить заторы транспорта и снизить время проезда, а следовательно, повысить производительность труда в осуществлении перевозок, их экономичность и отдалить срок мероприятий по реконструкции сети.

Цель данной научно-практической работы – разработка оптимального распределения транспортных потоков на улично-дорожной сети.

Задачи – определение оптимального распределения транспортного потока при маршрутизации количества транспортных средств.

Изложение основного материала. Транспортная система является уникальным примером системы с коллективным поведением ее субъектов. В связи с этим коллективное поведение является мощным фактором, формирующим закономерности функционирования транспортной системы.

Причем процессы самоорганизации приводят к образованию нескольких уровней устойчивого функционирования системы, образующих иерархическую структуру коллективной адаптации с различной временной стабильностью.

В этом плане можно выделить три следующих уровня:

- распределение мест формирования, обработки и потребления грузов, расселение населения;
- организация транспортных процессов в сети;
- формирование транспортных потоков на участках сети.

Оптимальное планирование работы транспортных систем, принципиально позволяющее преодолеть большинство из перечисленных трудностей, опирается на систему взаимосвязанных математических моделей, в рамках которых удастся учесть такие особенности транспортных систем, как нечеткость имеющейся информации, противоречия в интересах партнеров, многоцелевой характер оценки выбираемых режимов функционирования и т. д. На основе этих моделей появляется возможность формализовать задачи оптимизации и использовать соответствующий математический аппарат [1].

Решение данной задачи позволит определить необходимый автопарк для обеспечения потребности в транспорте для населения города при учете интересов перевозчиков и потребителей. Для решения задачи провели масштабное исследование пассажиропотока в его динамике за

продолжительное время (около месяца) для выявления всех характерных закономерностей и учета их в планируемой модели.

Построим модель, позволяющую рассчитать необходимое количество маршрутных такси для перевозки населения по одному маршруту при оптимальном соотношении времени перевозки всех пассажиров, прибыли перевозчика и стоимости проезда.

Доход перевозчика:

$$D = S \int_{t_0}^{t_1} N_{\text{пас}}(t) dt. \quad (1)$$

Время перевозки всех пассажиров:

$$T = \int_{t_0}^{t_1} T_{\text{пр}} \cdot \frac{N_{\text{пас}}(t)}{N_{\text{М}}(t) K_{\text{max}}} dt. \quad (2)$$

Тогда можно поставить задачу оптимизации следующим образом:

$$J = S \int_{t_0}^{t_1} \left[-N_{\text{пас}}(t) + \lambda T_{\text{пр}} \cdot \frac{N_{\text{пас}}(t)}{N_{\text{М}}(t) K_{\text{max}}} \right] dt - \max_t N_{\text{М}}(t) \cdot Z \rightarrow \min. \quad (3)$$

Для выбора оптимальной маршрутной сети ученые предложили использовать методы комбинаторного анализа (сравнение между собой всех возможных вариантов сетей маршрутов по различным критериям). Однако с учетом того, что для крупного города количество маршрутов движения между исследуемыми районами может достигать огромных значений, сравнить все возможные варианты становится практически невозможной задачей. При формировании вариантов маршрутных схем был применен метод

комбинаторного анализа с направленным отбором вариантов (рис. 1) [2].



Рис. 1. Организационная структура системы городского общественного транспорта

Однако в современных условиях функционирования автомобильных дорог, характеризующихся высокой интенсивностью движения, наиболее актуален вопрос оценки скоростей потоков автомобилей. Исследования режимов движения транспортных потоков, выполненные начиная с 60-х годов отечественными учеными Л.А. Кероглу, В.В. Филипповым, Я.В. Хомяком и другими, а также зарубежными, позволили установить закономерности изменения скорости потока автомобилей в зависимости от интенсивности и состава движения.

Все перечисленные работы касаются режимов движения на автомобильных дорогах общего пользования. Применение полученных закономерностей для улично-дорожной сети без выполнения дополнительных исследований не представляется возможным вследствие разнообразия факторов, влияющих на скоростной режим движения (рис. 2).



Рис. 2. Факторы, определяющие уровень организации дорожного движения

Многие составляющие транспортных услуг не фиксируются, т.к. они напрямую зависят от поведения водителей. Например, две точки транспортной сети могут соединяться различными маршрутами: если большинство пользователей начнет перемещаться по тому маршруту сети, который имеет наиболее позитивные показатели, возрастёт время ожидания общественного транспорта, увеличится время перевозки, снизится качество услуги и т.д. Прогнозировать поведение пользователей крайне сложно, т.к. некоторые из них согласятся тратить больше времени на прохождение данного маршрута, другие изменят свой маршрут, а третьи откажутся от поездки. Подобная ситуация может быть проанализирована при помощи двух функций, которые показывают, как уровень качества услуг повлияет на спрос и как спрос влияет на качество услуги.

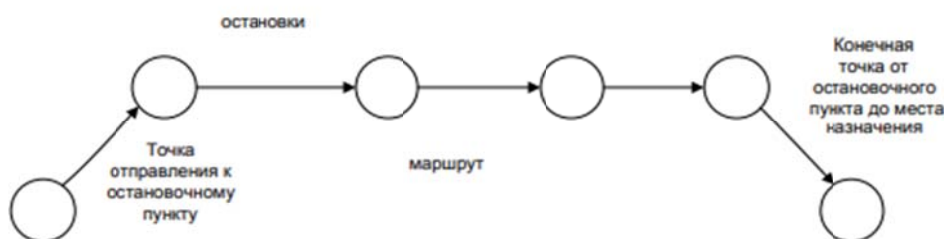


Рис. 3. Маршрут с точки зрения пассажиров

Следует принять во внимание, что некоторые маршруты могут пересекаться, могут быть взаимозаменяемыми и т.д. Выбор зависит от стоимости поездки и близости остановки. При транспортном планировании вся городская сеть делится на зоны. Размер каждой зоны может быть от одного квартала до целого города в зависимости от заданных параметров, как и количество зон.

Анализ методов показывает, что теоретические значения скоростей значительно отличаются от фактических. Этот факт можно объяснить сложностью учета особенностей психологического восприятия водителями дорожных условий. К тому же, предлагаемые закономерности изменения скорости свободного потока, ориентированные на оценку безопасности движения, не в полной мере пригодны для решения комплекса технико-экономических задач оптимизации функционирования элементов дорожно-транспортной инфраструктуры. Тем не менее, исследования отмеченных авторов в дальнейшем послужили основой для развития методов оценки условий и безопасности движения на проектируемых автомобильных дорогах, заключающихся в построении графиков изменения скорости одиночного автомобиля (рис. 4).

Эти функции также должны учитывать структуру транспортной сети и её показатели.

Улично-дорожная сеть состоит из набора определенных точек и линий, соединяющих их. Зачастую каждая пара точек соединяется более чем одной линией.

Выбор каждого маршрута зависит от многих показателей: время, стоимость, дополнительные услуги. Таким образом, между маршрутами возникает определенная конкуренция. При анализе работы общественного транспорта маршрут рассматривается как набор остановок и соединяющие их участки транспортной сети, он обычно характеризуется показателем «время в пути», но также необходимо учитывать, что пассажиры тратят время на ожидание транспортного средства и на подход к остановочному пункту (рис. 3) [3].

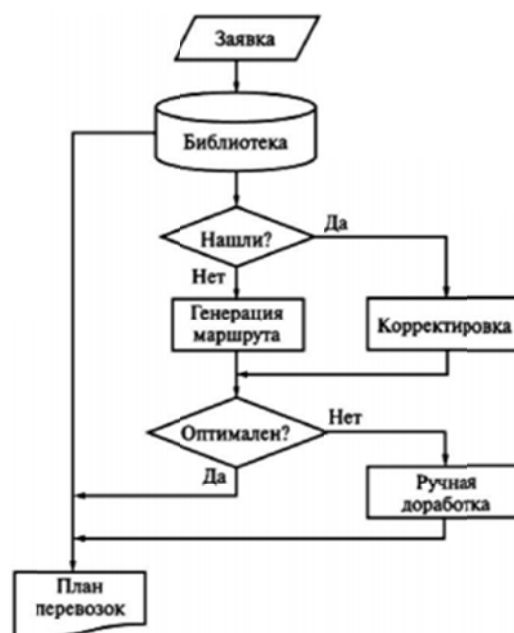


Рис. 4. Алгоритм планирования оптимального маршрута

Однако в современных условиях функционирования автомобильных дорог, характеризующихся высокой интенсивностью движения, наиболее актуален вопрос оценки скоростей потоков автомобилей.

Уже в тот период авторам удалось частично учесть влияние на скорость движения автомобилей дорожных условий через коэффициент, зависящий от состава движения.

Авторы пошли дальше в своих исследованиях и на основе метода множественной корреляции получили уравнения, уже учитывающие совместное влияние геометрических элементов дороги, интенсивности и состава движения на скоростной режим транспортного потока. Хотя подобные зависимости и позволяют довольно оперативно оценить принимаемые проектные решения, точность определения скорости движения во многом определяется совокупностью фактически действующих факторов при их взаимном расположении. Поэтому при своей универсальности предлагаемые зависимости могут быть применены лишь для анализа отдельных участков автомобильных дорог.

Изначально изучение скоростей движения транспортных потоков в городских условиях было выполнено для магистралей с непрерывным движением, приближенным к движению на дорогах общего пользования. В дальнейшем авторами рассмотрены закономерности изменения скоростей движения автомобилей на городских многополосных улицах и дорогах. При этом авторы

не принимали во внимание наличие дорожных помех, характерных для городских условий. Как подчеркивают сами исследователи, предложенная модель является грубой и требует корректировки, так как не учитывает наличие различных дорожных условий на транспортной сети города [4].

Следует отметить, что все специалисты едины в необходимости оптимизации работы, которая может быть достигнута за счет научно-обоснованного нормирования скоростей при разработке расписания движения, назначении оптимальных форм и режимов сообщения на городских автобусных маршрутах, а также установлении дифференцированных норм времени рейса с учетом характерных периодов в течение суток, дней недели и сезонов года. Как показали исследования, выполненные на многих автобусных маршрутах, суммарное время движения по контрольным участкам распределено необоснованно, в связи с чем его отклонение от фактического времени может достигать 30%.

Чтобы избежать потерь времени на маршруте, исследователями была разработана методика нормирования скоростей движения автобусов на городских маршрутах, направленная на улучшение транспортного обслуживания населения городов и снижение затрат времени на передвижение (рис. 5).

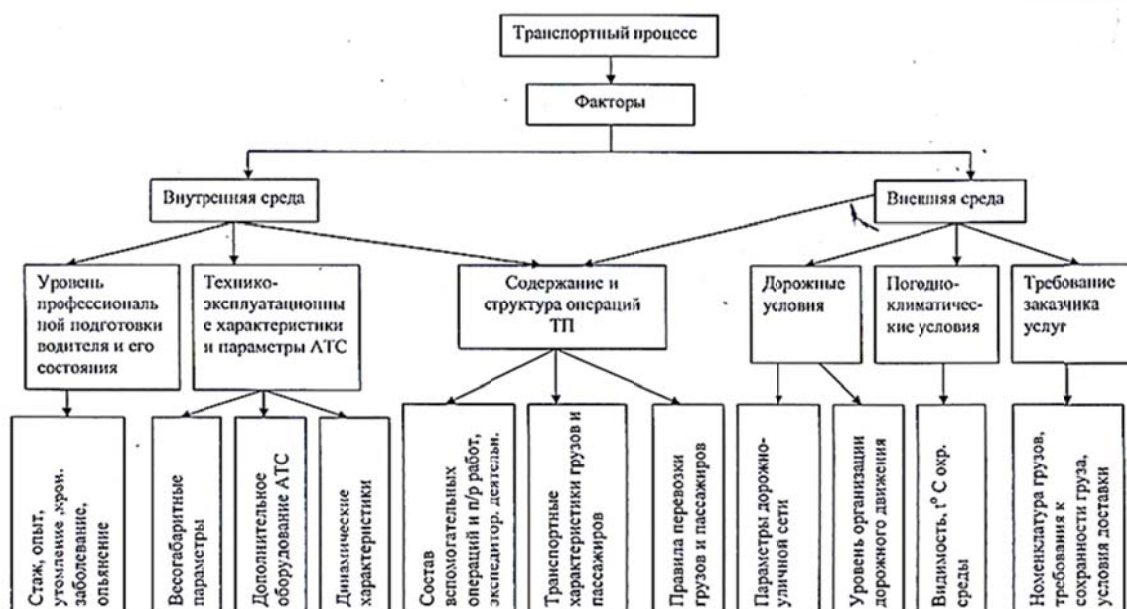


Рис. 5. Факторы, определяющие структуру и качество транспортного процесса

Характерно то, что при изучении скоростей движения автобусов на городских маршрутах исследователи анализируют одни и те же причины влияния на скорость ряда факторов, среди которых выделяют: форму и режим работы маршрута, длину перегона и всего маршрута, интенсивность движения транспортного потока, наличие обособленных полос, количество перекрестков и задержки времени на них, мощность

пассажиропотока, квалификацию и стаж работы водителей и так далее.

Исходя из вышесказанного видно, что подавляющее большинство ученых единогласны во мнении необходимости рассмотрения скорости движения пассажирского транспорта как одного из основных показателей, определяющего уровень эффективности функционирования всей транспортной сети [5].

Однако несмотря на активное развитие методов математического и имитационного моделирования, применение эмпирических и аналитических зависимостей по-прежнему остается одним из основных способов расчета скоростей движения автомобилей, позволяющих учесть влияние одного из эксплуатационных факторов. И лишь небольшая часть моделей учитывает комплекс факторов, оказывающих существенное влияние на скорость движения транспортного потока.

На участках городских дорог, характеризующихся интенсивным движением и частой сменой различных дорожных условий, задача прогнозирования скоростей движения транспортных потоков, преимущественно представленных индивидуальным и общественным пассажирским транспортом, становится особенно актуальной и требует разработки более совершенных моделей, включающих максимальный учет транспортно-эксплуатационных факторов [6].

Выводы. В современных крупных городах неотъемлемой частью жизнедеятельности человека является пассажирский транспорт. Его роль заключается в сокращении времени, затрачиваемого населением на перемещения. Для городов, застройка которых сформирована под влиянием исторических факторов, улично-дорожная сеть, как правило, не подготовлена для пропуска интенсивных транспортных потоков.

Л и т е р а т у р а

1. Александров А.П. Городской пассажирский транспорт / А.П. Александров, Л.А. Бронштейн, А.А. Поляков. – М.: Изд-во НИИГТ Моссовета, 1939. – 58 с.
2. Антошвили М.Е. Оптимизация городских автобусных перевозок / М.Е. Антошвили, С.Ю. Либман, И.В. Спирин. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с.
3. Богомолов А.А. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта в средних городах: дис. канд. техн. наук: 05.22.10 / Богомолов Андрей Александрович. – Вологда: Вологда, 2002. – 273 с.
4. Бунеев В.М. Эффективность городского пассажирского транспорта: методы оценки и обоснования / В.М. Бунеев, В.И. Новоселов, Н.Н. Путилова. – Новосибирск: НГАСУ, 2008. – 415 с.
5. Бурлуцкий А.А. Анализ опыта формирования оптимальных маршрутных схем городского пассажирского транспорта / А.А. Бурлуцкий // Вестник ТГАСУ. – Томск: Изд. ТГАСУ, 2013. – № 2. – С. 371-380.
6. Сафронов Э.А. Транспортные системы городов и регионов: учебное пособие / Э.А. Сафронов. – М.: Издательство АСВ, 2005. – 272 с.

References

1. Aleksandrov A.P. Urban passenger transport / A.P. Alexandrov, L.A. Bronstein, A.A. Polyakov. – M.: Publishing house of NIIGT Mossovet, 1939. – 58 p.
2. Antoshvili M.E. Optimization of urban bus transportation / M.E. Antoshvili, S.Yu. Lieberman, I.V. Spirin. – M.: Transport, 1985. – 102 p.
3. Bogomolov A.A. Optimization of routes of urban passenger transport in medium-sized cities: dis. Cand. technical sciences: 05.22.10 / Bogomolov Andrey Aleksandrovich. – Vologda: Vologda, 2002. – 273 p.

4. Buneev V.M. Efficiency of urban passenger transport: methods of assessment and justification / V.M. Buneev, V.I. Novoselov, N.N. Putilova. – Novosibirsk: NGAUT, 2008. – 415 p.

5. Burlutskiy A.A. Analysis of the experience of forming optimal route schemes for urban passenger transport. Burlutsky // Bulletin of TSASU. – Tomsk: Ed. TSUACE, 2013. – No. 2. – P. 371-380.

6. Safronov E.A. Transport systems of cities and regions: textbook / E.A. Safronov. – M.: Publishing house ASV, 2005. – 272 p.

Kosonogova L.G., Koroleva A.A., Dubasov A.V. **ANALYSIS OF THE OPTIMUM DISTRIBUTION OF TRANSPORT FLOW WHEN ROUTING THE NUMBER OF VEHICLES**

The article considered the traffic flow when routing vehicles. Systems of mathematical models are considered that allow solving problems with optimal planning of the work of transport systems. The constructed models are used to calculate the required number of fixed-route taxis for transporting the population along one route with an optimal ratio of the time of transportation of all passengers, the carrier's profit and the cost of travel.

Key words: system, optimization, transport, road, car, routing, transport network.

Косоногова Лариса Георгиевна, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: L.Laura777@yandex.ru

Kosonogova Larisa, candidate of technical Sciences, docent «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».
E-mail: L.Laura777@yandex.ru

Королёва Анастасия Александровна, магистр первого года обучения по специальности «Интеллектуальные транспортные системы», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: anastasiakorolyowa@yandex.ru

Koroleva Anastasia, master of the first year of study in the specialty "Intelligent transport systems" of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».
E-mail: anastasiakorolyowa@yandex.ru

Дубасов Андрей Васильевич, старший преподаватель кафедры транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: arbela@mail.ru

Dubasov Andrey, senior lecturer of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».
E-mail: arbela@mail.ru

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, д-р. техн. наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 19.03.2021

УДК 629.058

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Косоногова Л.Г., Нечаев Г.И., Короташ А.С.

MODERN TECHNOLOGIES ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE TRANSPORT INDUSTRY

Kosonogova L.G., Nechayev G.I., Korotash A.S.

Статья посвящена вопросам применения искусственного интеллекта (ИИ) в транспортной отрасли. На основе нормативных документов государственной системы сертификации России и отчетов ведущих международных и российских компаний по готовности стран к использованию автономного транспорта, проанализирована практика применения технологий ИИ в интеллектуальных транспортных системах (ИТС): беспилотном транспорте, «умной» инфраструктуре и системах управления. Выделены наиболее перспективные транспортные системы для внедрения в разрезе сегодняшней экономическо-технологической ситуации в нашем регионе.

Ключевые слова: искусственный интеллект, технологии, автономный транспорт, «умная» инфраструктура, транспортные системы.

Введение. Современный мир придуман не нами: мы живём среди устройств, систем и обществ, предсказанных за много лет до их появления. Еще в первой половине прошлого века фантаст Дэвид

Келлер воображал беспилотные автомобили в рассказе «Живая машина» (1935). Развитие современных информационных технологий и разработки новых вычислительных средств являются основой для «Материализации мечты».

Технологии, объединяющие академические знания и практический опыт наблюдений и деятельности людей, а также методы и средства их применения являются «искусственным интеллектом» (ИИ или на английском языке – AI). Технологии искусственного интеллекта формируют комплекс технологических решений, включающий информационно-коммуникационную инфраструктуру и программное обеспечение, в котором в том числе используются методы машинного обучения, процессы и сервисы по обработке данных и выработке решений [1].

Ниже приведены ключевые характеристики технологий искусственного интеллекта (рис. 1) [2].

Наименование технологии ИИ	Ключевые технические характеристики	Наименование технологии ИИ	Ключевые технические характеристики
Компьютерное зрение	1. Скорость обработки и передачи информации. 2. Требования к качеству фото и видео данных. 3. Объем данных для обучения. 4. Точность анализа (вероятность ошибки, по сравнению с человеком и др. устройствами). 5. Оптические возможности (определение цветов, расстояний и размеров, поиск по шаблонам и др.). 6. Требования к аппаратному обеспечению (увеличение разрешения видеосенсоров, динамический диапазон и объем вычислительной мощности для обработки).	Распознавание и синтез речи	1. Объем данных для обучения. 2. Требования к качеству аудио данных. 3. Скорость обработки данных. 4. Гословная ошибка. 5. Точность анализа (вероятность ошибки, по сравнению с человеком и др. устройствами). 6. Акустические возможности (определение частоты, тембра, силы, исключение шумов). 7. Требования к аппаратному обеспечению (качество и количество устройств ввода, требования к памяти, CPU).
	1. Скорость обработки и передачи информации. 2. Необходимый объем текстовых библиотек для обучения системы. 3. Точность анализа (вероятность ошибки, по сравнению с человеком и др. устройствами). 4. Требования к аппаратному обеспечению (качество и количество устройств ввода, требования к памяти, CPU). 5. Пословная ошибка.		1. Скорость обработки и передачи информации. 2. Необходимое качество данных для обучения. 3. Объем данных для обучения. 4. Точность (качество вывода). 5. Интерпретируемость ответа (объяснимость). 6. Способность адаптироваться к изменениям входных данных (самообучаемость). 7. Требования к аппаратному обеспечению. 8. Потенциал масштабирования.
Обработка естественного языка		Перспективные методы и технологии в ИИ	1. Энергопотребление. 2. Решение задач экспоненциальной сложности. 3. Количество задач, решаемых с помощью ИИ. 4. Количество успешных решений с применением перспективного метода. 5. Требования к аппаратному обеспечению.

Рис. 1. Ключевые технические характеристики технологий искусственного интеллекта

Искусственный интеллект также является частью «сквозных» технологий. Среди таковых выделяют: компоненты робототехники и сенсорики, технологии виртуальной и дополненной реальности, беспроводной связи, квантовые технологии, системы распределенного реестра, новые производственные технологии, промышленный интернет и большие данные [3].

ИИ затрагивает все больше различных сфер. Не стала исключением и транспортная отрасль, где появляются новые задачи в управлении логистикой и эксплуатации инфраструктуры. Для удовлетворения ее потребностей необходимо развивать цифровые модели мультимодальных и пассажирских перевозок, транспортной безопасности, международный транзит, транспортную телематику, геоинформационные технологии и пр. Эти вопросы решают интеллектуальные транспортные системы (ИТС) [3].

Цель данной научно-практической работы – изучение роли технологий искусственного интеллекта в развитии транспортной отрасли на основе анализа отчетов ведущих международных и российских компаний и определение наиболее перспективных транспортных систем для развития в нашем регионе.

Изложение основного материала. В мире идёт активная разработка ИТС. Их стандартизацией занимаются такие организации, как ETSI (Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций), IEEE (Институт инженеров электротехники и электроники), 3GPP (консорциум, разрабатывающий спецификации для мобильной телефонии) и др. В России требования к организации, функциям и задачам ИТС установлены ГОСТ Р 56829-2015 [4]. Базовая архитектура ИТС задана в ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011 [5]. Функция интеллектуальности ИТС обеспечивается за счет максимально возможной автоматизации процессов управления транспортно-дорожным комплексом, выработки прогнозных управляющих решений на основе современных математических решений и высокоэффективных аппаратно-программных реализаций.

Наиболее ярко внедрение ИИ в ИТС представлено в развитии автономного (беспилотного) транспорта, «умной инфраструктуре» и системах управления.

Современная концепция развития ИТС представлена на рис. 2 [6].

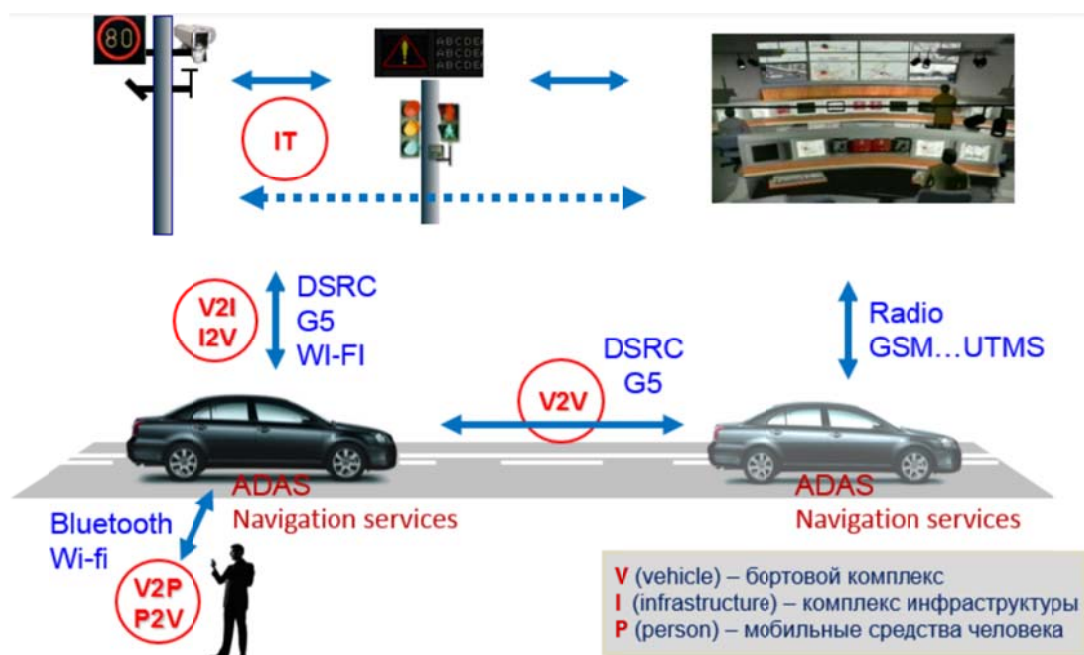


Рис. 2. Концепция развития ИТС

В ноябре 2019 года в России крупные технологические компании ПАО «Сбербанк», «Газпром нефть», «Яндекс», Mail.ru Group, МТС и РФПИ в ходе конференции AI Journey подписали соглашение о сотрудничестве для создания альянса по искусственному интеллекту. Они стали локомотивом развития беспилотного транспорта в России.

С 2019 года беспилотные транспортные средства (БПТС) в тестовом режиме курсируют по дорогам общего пользования Москвы и Татарстана при условии нахождения водителя за рулем для визуального контроля. В марте 2020-го эксперимент был расширен еще на 11 регионов. Разработки по беспилотному транспорту ведет целый ряд компаний и организаций – «Яндекс», «КАМАЗ», НПО «СтарЛайн», институт НАМИ, университет

(МАДИ). В случае окончательной легализации использования автономных автомобилей российская индустрия получит значительные стимулы для развития, несмотря на то, что в рейтинге готовности к беспилотникам страна занимает пока 26 из 30 мест (2020 г.) [7, 8].

Беспилотный автомобиль – транспортное средство, оборудованное системой автоматического управления, которое может передвигаться без участия человека. Общие принципы работы у всех беспилотных автомобилей примерно одинаковы. Предлагаем ознакомиться с ними на примере беспилота Яндекс (рис. 3) [9].



Рис. 3. Принцип работы беспилотного автомобиля Яндекс

По классификации SAE International систем помощи водителю существует шесть классов автономности.

Уровень 0. Полностью ручное управление с возможностью предупреждения об опасных ситуациях на дороге.

Уровень 1. Система предупреждения об опасности столкновения с автомобилями, пешеходами, а также о пересечении линии разметки, идентификацию дорожных знаков и т. п., а также вмешательство в систему управления.

Уровень 2. Более активная помощь водителю (руление, торможение, удержание в полосе и т. д.).

Уровень 3. Автономное движение на заданных участках дороги, которое требует от водителя лишь частичного надзорного контроля.

Уровень 4. Автономное движение автомобиля в определённых режимах, при котором человек уже не может повлиять на управление даже в критических ситуациях.

Уровень 5. Полная автономность транспортного средства, водитель лишь задает конечный пункт маршрута, а весь процесс передвижения полностью ложится на ИИ автопилота [2].

Коммуникационные возможности автомобилей сегодня изучаются в рамках нескольких технологий беспроводной связи, лазерного и радиоволнового зондирования и мониторинга объектов,

находящихся в зоне движения автомобилей. К этим технологиям относятся:

- коммуникации между автомобилями – V2V (Vehicle-to-Vehicle) – обмен текущей информацией между автомобилями о движении в караване без участия водителя – скорости, местоположении, автомобиль в «слепой зоне» и др.;

- коммуникации автомобиля с объектами дорожной инфраструктуры – V2I (Vehicle-to-Infrastructure) – обмен информацией с объектами инфраструктуры (светофоры, дорожные знаки, подсистемами контроля ПДД, освещения, паркинг, безостановочной оплаты за проезд и др.);

- мониторинг автомобилем пешеходов – V2P (Vehicle-to-Pedestrian) – сервер получает сигналы от мобильных телефонов, автомобилей, вычисляет их взаимное положение и передает обработанные данные в навигационную систему автомобиля, предупреждая водителя на дисплее и голосовым сообщением;

- подключение электромобилей и гибридных автомобилей к сетям электроснабжения – V2G (Vehicle-to-Grid) – места подзарядки в общей электросети и возврат лишней электроэнергии;

- подключение автомобилей к телекоммуникационным сетям – V2N (Vehicle-to-Network).

Оснащение всеми видами коммуникаций автомобиля в любых дорожных ситуациях обеспечит максимальную безопасность и находящимся в нем людям, и всем участникам дорожного движения.

По мнению многих экспертов, на первоначальном этапе БПТС получат наибольшее применение и распространение в сегменте грузовых автомобильных перевозок, способных обеспечить максимальный экономический эффект и быстрый возврат вложенных в разработки инвестиций. Возможности сокращения до 45-50% транспортных расходов сделают их более привлекательными для автоперевозчиков и грузоотправителей в сравнении с обычными транспортными средствами.

Уже сегодня примерами использования БПТС с 2019 г. являются: беспилотный электромобиль, совершающий грузоперевозки между терминалом и складом в промышленной зоне по дорогам общего пользования в Швеции, и российский самоуправляемый робот «Яндекс Ровер» для доставки небольших грузов. В Китае БПТС используют для доставки медикаментов и еды медикам и населению в зараженных COVID-19 территориях. В Сеуле четырехколесные электромобили выполняют доставку товаров из грузовиков в магазины и рестораны по парковочным пешеходным зонам, где запрещено движение другого автотранспорта [8].

Существование беспилотного автомобиля невозможно без «умной» **инфраструктуры**. Для эксплуатации данного поколения автономных транспортных средств необходимы датчики,

дорожное оборудование и подробное цифровое картирование.

Технологическими решениями в области умных транспортных систем являются: системы GPS; система подключенных автомобилей; система наблюдения и автоматические системы считывания номерных знаков; системы динамического моделирования и управления транспортными

потоками; динамические системы по определению оптимального времени цикла светофоров в зависимости от загруженности дорог; пассажирские информационные панели; навигационные панели; системы сигнализации.

Разработана единая техническая платформа для ИТС на базе RFID технологии, которая включает в себя автоматические подсистемы (рис. 4).



Рис. 4. Автоматические подсистемы регулирования и контроля дорожного движения

Подсистема мониторинга параметров транспортного потока [10] является образующей системой для сбора исходных данных, необходимых для обеспечения работы большинства подсистем ИТС, и включает в себя:

- подсистему косвенного управления транспортными потоками, как инструмент сбора данных для построения КМК на этапе проектирования и ее корректировки на этапе эксплуатации;
- подсистему директивного управления транспортными потоками, как инструмент сбора данных о текущей загруженности на подъезде к регулируемым пересечениям, необходимых для расчета длительности фаз в зависимости от текущей транспортной обстановки;
- подсистему управления состоянием дорог и дорожной инфраструктуры, как инструмент идентификации факта ухудшения дорожной ситуации в рамках рассматриваемой комплексной цели;
- подсистему диспетчерского управления наземного городского пассажирского транспорта, как инструмент для формирования представления о текущей транспортной ситуации в вопросах оперативного реагирования на нештатные ситуации и формирования оптимальных маршрутов следования.

Детекторы транспорта подразделяются в зависимости от задач их установки и типа данных, которые они собирают на детекторы скорости, интенсивности, очереди и состава транспортного

потока. Благодаря использованию детекторов транспорта осуществляется обратная связь между центральным пунктом управления и дорожной сетью.

Автоматизированная система взимания платы за проезд позволяет водителям оплачивать проезд без остановки транспортных средств на пунктах оплаты (рис. 5).

Тайвань стал первой страной в мире, которая полностью перешла от традиционных пунктов взимания платы по фиксированной ставке к безостановочному сбору оплаты на основе пройденного расстояния на всех своих автострадах. Система электронной оплаты позволила сделать процесс вождения более комфортным, уменьшить расход топлива (более 120 млн тонн в год) и снизить выбросы CO₂ в атмосферу (более 290 тыс. тонн в год) и в общей сложности экономит автомобилистам более 375000 часов в день [11].

Подсистемы детектирования ДТП и чрезвычайных ситуаций – автоматическое определение ДТП и иных нештатных ситуаций на сети дорог (рис. 6). Принцип работы основан на получении информации о текущей транспортной обстановке из нескольких информационных источников:

- дорожного оборудования (детекторы транспорта, камеры видеонаблюдения и т.д.);
- оборудования установленного внутри транспортного средства (блок ЭРА ГЛОНАСС, элементы кооперативных подсистем и др.);
- открытых информационных источников.

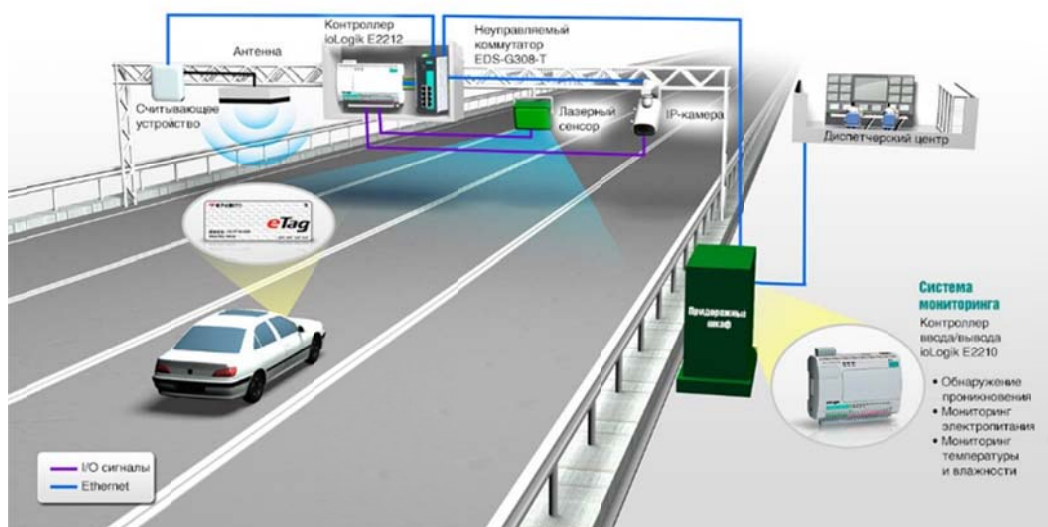


Рис. 5. Автоматизированная система взимания платы за проезд на автострадах Тайваня

ЭРА ГЛОНАСС – система экстренного реагирования при авариях

К 2013 году предполагается оснащение всех новых российских автомобилей ГЛОНАСС-оборудованием



Рис. 6. Детектирование ДТП системой ГЛОНАСС

Подсистемы светофорного регулирования направлены на повышение уровня БДД, снижение времени простоя при проезде регулируемых перекрестков и снижение времени проезда участка дороги в целом. В общем виде можно выделить три основных принципа построения систем светофорного регулирования:

– жесткий цикл (смена режима работы осуществляется в определенное время и не зависит от текущего состояния дорожной сети);

– координированное управление (согласованная работа ряда светофорных объектов с целью сокращения задержки транспортных средств);

– адаптивное управление (параметры светофорного цикла изменяются в зависимости от величин транспортных запросов по конфликтным направлениям).

Подсистемы управления и контроля парковочного пространства используют телематические услуги в направляющих системах к парковкам всех видов (Р+R, охраняемые стоянки, гаражные сооружения и т.д.), связанных с центром управления, системах парковочных автоматов и их соединении с центром управления, информационных системах в крупных гаражах и др. В эту область также входит система электронной оплаты (EFC, Electronic Fee Collection).

Подсистема весового контроля – технология взвешивания транспортных средств без их остановки (на ходу) – продукт спектра транспортно-телематических услуг, использующий систему

управляемых дорожных знаков в комплекте с совершенными датчиками и устройствами связи (рис. 7).

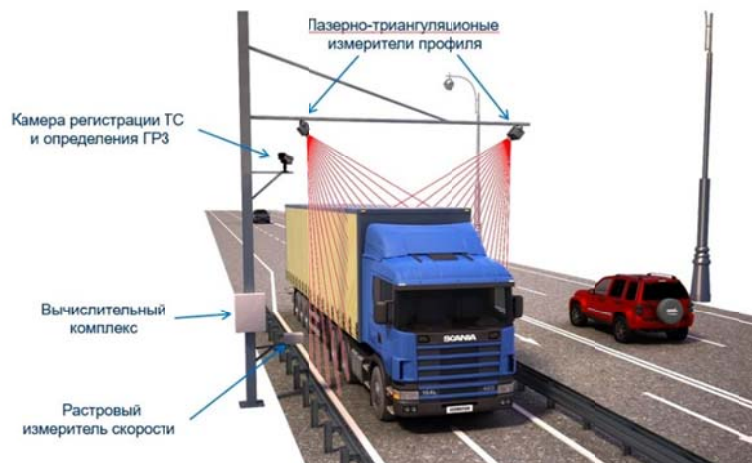


Рис. 7. Схема системы весового контроля

Подсистема метеомониторинга в критических точках транспортной сети расположены датчики для измерения физических величин на дороге: температуры поверхности проезжей части дороги и внутренних слоев дорожной одежды, температуры воздуха, солнечного излучения и др. Данные обрабатываются и передаются в местный центр управления движением, где автоматически оцениваются, далее оповещается водитель. Эта информация используется также центрами управления дорог, которые могут заблаговременно принять необходимые меры по уходу за дорогой.

Система автоматического управления освещением направлена на выбор оптимального варианта освещения дорожной сети в зависимости от времени суток. Принцип работы данных подсистем заключается в установке на столбах освещения датчиков присутствия, позволяющих определять стоящее транспортное средство, после чего автоматически увеличивать яркость освещения на данном участке с целью повышения его видимости для остальных участников дорожного движения.

Динамическое информационное табло (ДИТ) и знаки переменной информации (ЗПИ) – набор оборудования на основе светодиодной технологии для установки на автомобильных дорогах и улицах с целью информирования участников дорожного движения об изменении условий окружающей среды, состоянии автомобильных дорог и предоставления другой полезной информации.

Процесс управления дорожным движением подразумевает постоянный сбор информации об обстановке, об имеющихся ресурсах воздействия на ситуацию, их детальных характеристиках, проведении аналитических исследований и – как завершение этого – выработку управленческого

решения, доведение до исполнителей и постоянную обратную связь как с исполнителями, так и с другими источниками информации. В целях совершенствования и оптимизации системы управления в транспортной отрасли создаются Центры организации дорожного движением [12].

В центре используют ИТ-технологии: корпоративные каналы, информатизация госфункций, системы видеонаблюдения, система безопасности и контроля автотранспорта, геоинформационные системы, учетные системы, BPM, SaaS – программное обеспечение как услуга, система видеоаналитики, САПР, ИТ-аутсорсинг, серверные платформы.

Одним из главных подразделений ЦОДД является Ситуационный центр. Он обеспечивает выполнение большинства функций ЦОДД: организация дорожного движения; обслуживание дорожно-транспортной инфраструктуры города; регулирование движения грузового транспорта; настройка и обработка данных с комплексов фотовидеофиксации; РНИС/РПД контроль перевозчиков; анализ ситуации; информирование водителей; обработка обращений граждан.

Технический центр включает в себя:

– *Центр управления светофорами* – фундамент ритма работы светофорной системы задается путём изучения статистических закономерностей движения. Система настраивается сначала под обеспечение усреднённой статистически предсказуемой нагрузки, а затем вносятся изменения путём подключения механизмов адаптивности – как локальной, так и на основании данных динамической транспортной модели. Следующий уровень оптимизации – координированное управление, при котором светофоры работают согласованно друг с другом,

реализуя ту или иную политику управления движением.

– Система мониторинга движения на основе радиолокационных детекторов движения. Их плюсом является всепогодность, так что в любую погоду в Ситуационный центр поступают достоверные данные о движении на опорной уличной-дорожной сети.

– Региональная навигационно-информационная система (РНИС), обеспечивающая онлайн-приём и ведение архивов трекеров, установленных на транспорте: пассажирском, коммунальной технике, технике подведомственных учреждений Департамента транспорта (ЦОДД, АМПП, МАДИ), поступают данные и от каршеринговых компаний и такси.

– Система фотовидеофиксации для контроля нарушений ПДД. Информация о проездах транспорта передается в правоохранительные органы и используется для осуществления оперативно-розыскных мероприятий, а также в целях обезличенного мониторинга движения и для изучения матрицы распространённых корреспонденций между частями города. Это защищённый контур, неуязвимый к хакерским атакам.

– Система управления дорожными табло – вывод информации в масштабах всего города занимает не более 3 минут. Это эффективное средство информирования водителей о дорожной обстановке, погодных явлениях, пропаганды безопасности дорожного движения, для розыска преступников или пропавших людей.

– Система контроля параметров перевозок – с её помощью ведётся контроль выхода на линию, выполнения транспортной работы, заданных периодов движения, автоматическая фиксация простоев, формирование сигналов тревоги при

неожиданной остановке пассажирского транспорта на маршруте и т.д., что позволяет полноценно понимать состояние наземного пассажирского транспорта и принимать эффективные управленческие решения. Также эта система используется в аналитических целях – для изучения востребованности пассажирского транспорта в направлениях расширения, обеспечения приоритетного проезда и прочее.

Выводы. Разработки и развертывание ИТС – это потенциально эффективный конкурентоспособный инновационный бизнес и стимул развития нового высокотехнологичного сектора промышленности, что является важным антикризисным фактором. При сильной заинтересованности государства и частных компаний во внедрении беспилотных технологий и расширении зон тестирования беспилотных автомобилей экономика приобретет качественно новый трансформационный потенциал.

Россия входит в тридцатку лидеров по внедрению автономных автомобилей на повседневной основе. При этом, согласно результатам опроса руководителей Всемирного экономического форума она расположилась на последней строчке по уровню доступа к новейшим технологиям и заняла предпоследнее место по качеству дорог. Кроме того, эксперты указали на отставание РФ с точки зрения уровня поддержки технологий регулируемыми органами, покрытия LTE-сети и партнерских связей между автопроизводителями и поставщиками технологий.

Конечно, не лучше ситуация на территории нашего региона. Но можно выделить ряд перспективных транспортных систем в разрезе сегодняшней экономическо-технологической ситуации Донбасса (рис. 8).



Рис. 8. Перспективные транспортные системы

Литература

1. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект». – Москва, 2019. – 50 с.

2. Технологии искусственного интеллекта. – Москва: Агентство промышленного развития Москвы, 2019. – 155 с.

3. Применение искусственного интеллекта в транспортном комплексе / отчет Allied Market Research / Министерство транспорта РФ / 2019 [Электронный ресурс]

режим доступа: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/primenenie-iskusstvennogo-intellekta-v-transportnom-komplekse.pdf>.

4. ГОСТ Р 56829-2015 «Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения».

5. ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011 «Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем».

6. Интеллектуальные транспортные системы как инструмент аудита обеспечения безопасности дорожного движения, Жанказиев С.В., д.т.н., профессор, зав. кафедры ОБД МАДИ / презентация 2018 / [Электронный ресурс] режим доступа: <http://new.groteck.ru/images/catalog/42200/f3f5613b8b6cc5616c75ab429dac6883.pdf>.

7. Маркоткин Н., Черненко Е. «Развитие технологий искусственного интеллекта в России: цели и реальность» / июль 2020 г. [Электронный ресурс] режим доступа: <https://carnegieendowment.org/2020/07/07/ru-pub-82173>.

8. Индекс готовности стран к использованию автономного транспорта – 2020 / Отчет KPMG International / [Электронный ресурс] режим доступа: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2020/08/ru-ru-autonomous-vehicles-readiness-index-2020.pdf>.

9. Беспилотный автомобиль Яндекс [Электронный ресурс] режим доступа: <https://bespilot.com/news/366-yandex-bespilot>.

10. Учебно-методическое пособие по повышению квалификации специалистов в сфере организации дорожного движения. – Москва, 2019. – 368 с.

11. Решения для создания ИТС / Разработки автоматизированных систем для транспортной отрасли / компания МАХА / [Электронный ресурс] режим доступа: <https://moxa.pro/solution/solutions/transport/>.

12. Ситуационный центр ЦОДД / Информационный журнал «ИТС России» [Электронный ресурс] режим доступа: <https://itsjournal.ru/articles/urban-environment/situatsionnyy-tsentr-tsodd-ot-feodalnoy-razdroblennosti-k-effektivnomu-upravleniyu/>.

References

1. Dorozhnaya karta razvitiya «skvoznoj» cifrovoy tehnologii «Nejrotehnologii i iskusstvennyy intellekt». – Moskva, 2019. – 50 p.

2. Tehnologii iskusstvennogo intellekta. – Moskva: Agentstvo promyshlennogo razvitiya Moskvy, 2019. – 155 p.

3. Primenenie iskusstvennogo intellekta v transportnom komplekse / otchet Allied Market Research / Ministerstvo transporta RF / 2019 / URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/primenenie-iskusstvennogo-intellekta-v-transportnom-komplekse.pdf>.

4. GOST R 56829-2015 «Intellektual'nye transportnye sistemy. Terminy i opredeleniya».

5. GOST R ISO 14813-1-2011 «Intellektual'nye transportnye sistemy. Shema postroeniya arhitektury intellektual'nykh transportnykh sistem».

6. Intellektual'nye transportnye sistemy kak instrument audita obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya, Zhankaziev S.V., d.t.n., professor, zav. kafedry OBD MADI / prezentacija 2018 / URL: <http://new.groteck.ru/images/catalog/42200/f3f5613b8b6cc5616c75ab429dac6883.pdf>.

7. Markotkin N., Chernenko E. «Razvitie tehnologii iskusstvennogo intellekta v Rossii: celi i real'nost'» / ijul' 2020 g. / URL: <https://carnegieendowment.org/2020/07/07/ru-pub-82173>.

8. Indeks gotovnosti stran k ispol'zovaniyu avtonomnogo transporta – 2020 / Otchet KPMG International / URL: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2020/08/ru-ru-autonomous-vehicles-readiness-index-2020.pdf>.

9. Bespilotnyj avtomobil' Jandeks / URL: <https://bespilot.com/news/366-yandex-bespilot>.

10. Uchebno-metodicheskoe posobie po povysheniju kvalifikacii specialistov v sfere organizacii dorozhnogo dvizheniya. – Moskva, 2019. – 368 p.

11. Resheniya dlja sozdaniya ITS / Razrabotki avtomatizirovannykh sistem dlja transportnoj otrasli / kompaniya MAHA / URL: <https://moxa.pro/solution/solutions/transport/>.

12. Situacionnyj centr CODD / Informacionnyj zhurnal «ITS Rossii» / URL: <https://itsjournal.ru/articles/urban-environment/situatsionnyy-tsentr-tsodd-ot-feodalnoy-razdroblennosti-k-effektivnomu-upravleniyu/>.

Kosonogova L.G., Nechayev G.I., Korotash A.S.

MODERN TECHNOLOGIES ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE TRANSPORT INDUSTRY

The article is devoted to the application of artificial intelligence (AI) in the transport industry. On the basis of regulatory documents of the state certification system of Russia and reports of leading international and Russian companies on the readiness of countries to use autonomous transport, the practice of using AI technologies in intelligent transport systems (ITS) was analyzed: unmanned transport, «smart» Infrastructure and control systems. Highlighted the most promising transport systems for implementation in the context of the current economic and technological situation in our region.

Key words: artificial intelligence, technology, autonomous transport, smart infrastructure, transportation systems.

Косоногова Лариса Георгиевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: L.Laura777@yandex.ru

Kosonogova Larisa, candidate of technical Sciences, docent «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: L.Laura777@yandex.ru

Нечаев Григорий Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Nechayev Grigoriy, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Короташ Алексей Сергеевич, студент 3 курса института транспорта и логистики, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: policiyant@mail.ru

Korotash Aleksey, 3rd year student of the Institute of Transport and Logistics, State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: policiyant@mail.ru

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 12.04.2021

УДК 620.178.3

РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОЙ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Коструб В.А., Мирошников А.А.

DEVELOPMENT OF MULTICHANNEL STRAIN GAUGE SYSTEM

Kostrub V.A., Miroshnikov A.A.

Повышение эффективности транспортных систем в современных условиях является одной из актуальных проблем. При этом один из важнейших вопросов их эксплуатации – достоверная оценка остаточного ресурса и надежности этих машин. В работе рассмотрен метод оценки остаточной прочности и остаточного ресурса металлоконструкций грузоподъемных машин, предложено аппаратное решение для измерительного комплекса по его реализации.

Ключевые слова: надежность, напряженно-деформированное состояние металлоконструкции, мостовой кран, остаточный ресурс, измерительная система.

Введение. Себестоимость перевозки одной тонны груза складывается из затрат на погрузку-разгрузку, на транспортирование, на ремонт и содержание автомобильных дорог, организацию и обеспечение безопасности движения на дорогах, на складское хранение груза и на операции по подготовке груза к перевозке и складированию после разгрузочных работ. Себестоимость перевозки одной тонны груза определяется:

$$S_{\Pi} = \frac{\sum C}{W_Q},$$

где $\sum C$ – сумма расходов за рассматриваемый период, руб.;

W_Q – транспортная продукция за рассматриваемый период, т.

Суммарные затраты представляют собой сумму

$$\sum C = C_{\Pi\Gamma} + C_X + C_D + C_{\Pi P} + C_T,$$

где $C_{\Pi\Gamma}$ – затраты, связанные с выполнением операции по подготовке груза к перевозке и складированию после выполнения разгрузочных работ, а также затраты на комплектацию, пакетирование, складирование и другие работы, связанные с подготовкой груза к перевозке и размещением его на складе грузополучателя;

C_X – складские затраты, связанные с хранением груза в процессе его накопления, ожидания тары, подвижного состава и т.д.;

C_D – дорожные затраты, связанные со строительством, ремонтом и содержанием дорог, а также с обеспечением безопасности движения подвижного состава;

$C_{\Pi P}$ – затраты, связанные с выполнением погрузочно-разгрузочных работ, включающие в себя расходы на содержание грузчиков и персонала, обслуживающего погрузочно-разгрузочные механизмы, стоимость энергии, смазочных и других эксплуатационных материалов, стоимость технического обслуживания и ремонта механизмов, амортизационные отчисления и пр.;

C_T – затраты, связанные с транспортированием груза, в которых учитываются только расходы на транспортирование, которые рассчитываются на основе калькуляции себестоимости и распределяются по статьям в зависимости от их характера и назначения.

На рис. 1 показана технологическая схема процесса перевозки груза с использованием различного вида транспорта.

Проанализируем звено $C_{\Pi P}$ более подробно. Затраты, связанные с погрузочно-разгрузочными работами, рассчитываются по формуле:

$$C_{\Pi P} = C_{3\Pi} + C_3 + C_M + 0,01 \frac{A}{K} + P + R - C_{yc}, \text{ руб.},$$

где $C_{3\Pi}$ – основная и дополнительная заработная плата по категориям работников;

C_3 – затраты, расходуемые на топливо, электроэнергию, сжатый воздух;

C_M – расходы на обтирочные и смазочные материалы;

A – процент амортизационных отчислений;

K – капитальные вложения;

P – затраты на все виды ремонта и техническое обслуживание машин;

R – затраты на быстро изнашивающуюся оснастку (ленты конвейеров, тормозные ленты, стальные канаты), а также на транспортировку, перестановку, уход при отсутствии груза и др.;

$C_{\text{ус}}$ – экономия от ускорения перегрузочного процесса.

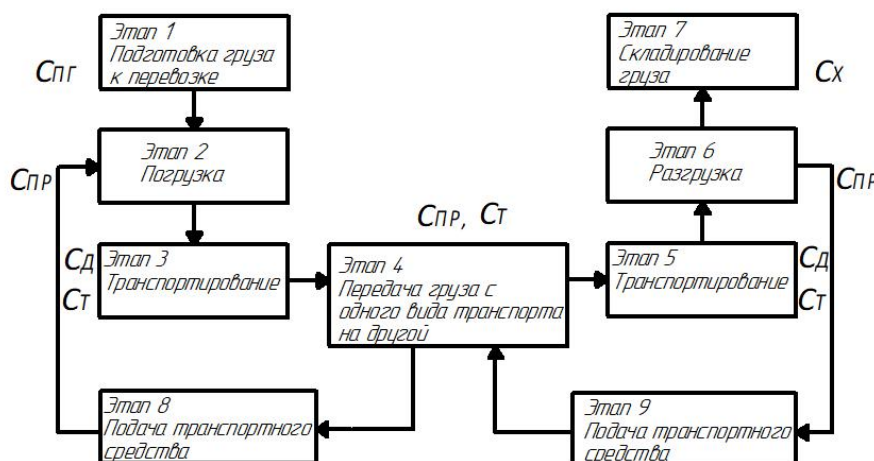


Рис. 1. Технологическая схема процесса перевозки грузов различными видами транспорта

Составляющая P характеризуется следующим образом. Затраты на все виды ремонта и техническое обслуживание машин напрямую связаны с выработкой нормативного срока службы. Средний срок службы подъемных сооружений в России составляет более 28 лет, что в среднем в 2 раза больше нормативного. По статистическим данным различных отраслей промышленности, парк грузоподъемных машин, отработавших нормативный срок службы, составляет 80-82 %. Согласно статистическим данным Ростехнадзора [1], производственный травматизм и аварийность на подъемных сооружениях занимают третье место (после травматизма в угольной и горнорудной промышленности) и составляет примерно 90 аварий в год.

В этой связи возникает необходимость эффективной, научно обоснованной оценки надежности металлоконструкций грузоподъемных машин и определения их остаточного ресурса.

Изложение основных материалов. Целью данной работы является оценка возможности применения измерительного комплекса на базе АЦП для получения данных о напряженно-деформированном состоянии металлоконструкции грузоподъемных машин.

АЦП Е14-140М – современное универсальное программно-аппаратное устройство, предназначенное для построения многоканальных измерительных систем ввода, вывода и обработки аналоговой и цифровой информации в составе персональных компьютеров [2], а также имеющее возможность применения в качестве автономного устройства сбора данных и управления в варианте с внешним питанием +5В для осуществления пользовательских алгоритмов реального времени.

Как известно, в последнее время широкое распространение получили компьютерно-ориентированные средства измерений, часто называемые виртуальными приборами. Основные достоинства таких устройств – относительно низкая стоимость, высокая мобильность, органичная интегрированность в компьютерные технологии, возможность легкой адаптации и развития программного обеспечения под измерительные задачи. Непосредственное и разнообразное использование аппаратно-програм-мных ресурсов управляющего компьютера позволяет ограничиться аппаратной реализацией только измерительно-интерфейсной части прибора. Особую популярность в последние годы приобрели виртуальные приборы, выполненные в виде приставки к компьютеру с интерфейсом USB.

Разработанный измерительный комплекс, на базе АЦП Е14-140М (далее – комплекс), работает в режиме USB связи с персональным компьютером или ноутбуком. Компьютер в комплексе с программным обеспечением Power Graph, реализованным в системе Microsoft Windows, выполняет функции устройства управления, накопления, обработки и отображения измерительной информации [3, 4]. Комплекс включает в себя базовый модуль АЦП, содержащий встроенный источник питания, усилитель сигнала с датчика, блок питания усилителя, а также тензодатчики. Продвинутое режимы синхронизации позволяют создавать многомодульную систему сбора данных по схеме один задатчик – много приемников [5, 6]. Независимая настройка каждого канала дает возможность работать с различными типами датчиков одновременно. Внешний вид комплекса представлен на рис. 2.

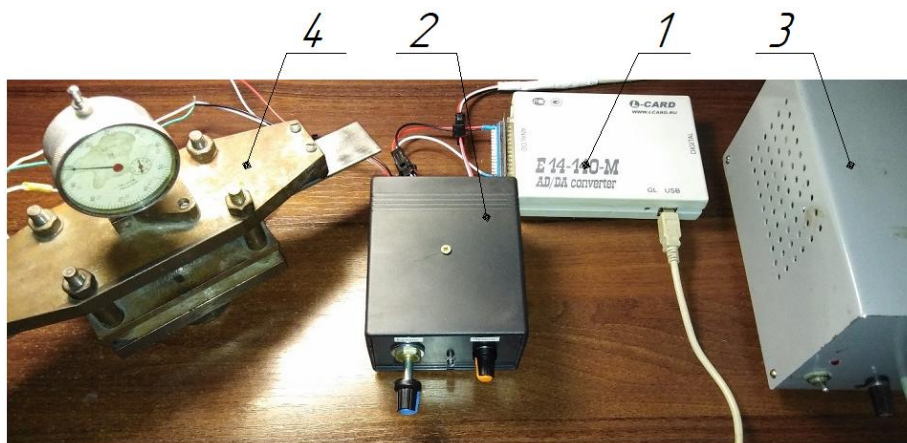


Рис. 2. Измерительный комплекс напряженно-деформированного состояния в металлоконструкции: 1 – АЦП E14-140M; 2 – усилитель одноканальный; 3 – блок питания; 4 – устройство для тарировки балки

Характеристики комплекса для измерения напряженно-деформированного состояния с помощью тензодатчиков:

1. E14-140M имеет АЦП 14 бит/200 КГц для подключения до 16 дифференциальных каналов или 32 с «общей землёй», 16 каналов цифрового ввода и вывода, совместимые с TTL логикой, а также 2 канала ЦАП 12 бит/ ± 5 В.

Выбор диапазонов измерения осуществляется программно. Синхронизация АЦП возможна по внешнему синхросигналу или по уровню входного сигнала, имеется режим межмодульной синхронизации. Применение цифрового сигнального процессора и загрузка прикладных программ позволяют реализовывать различные функциональные алгоритмы и специализированные режимы работы модуля при низкоуровневом программировании [7].

2. Универсальный одноканальный предварительный усилитель напряжения сигнала полного тензометрического моста и полумоста, термопары и т.д. в компактном исполнении. Со стороны разъёма датчика (X1) имеет: питание моста 5/2,5 В, выход «средней точки» для подключения тензометрического полумоста. Выход предусилителя (со стороны разъёма X2) совместим как с дифференциальным входом, так и со входом с землёй АЦП общего применения. Ширина полосы частот пропускания предварительного усилителя составляет 50 кГц, что даёт возможность его применения, в частности, в задачах исследования динамических процессов. Имеется регулировка баланса и чувствительности мостовой схемы.

3. Блок питания с преобразованием однополярного напряжения в двухполярное. Схема отличается своей простотой и универсальностью. На вход схемы можно подавать переменное напряжение в широком диапазоне, имеющем ограничения только допустимым напряжением диодов моста, допустимым напряжением конденсаторов питания и напряжением транзисторов [8]. Выходное напряжение каждого из

плеч равно половине общего напряжения питания, например: при входном переменном напряжении 20В, выходное напряжение одного плеча будет равно $(20 \cdot 1,41)/2 = 14$ В. В качестве транзисторов можно применять любые комплементарные транзисторы. Хорошими вариантами замены могут быть MPSA42/92, KSP42/92, BC546/556, KT3102/3107 и т.д.

4. Проволочный тензорезистор массового применения (рис. 3) представляет собой плоскую петлеобразную проволочную обмотку 2 прямоугольной формы (решетку), к концам 4 которой припаяны или приварены относительно толстые выводы из медной проволоки 5. Проволочная решетка с помощью специального клея 3 закрепляется на тонкой прямоугольной полоске 1 из бумаги, клеевой или лаковой пленки, служащей для решетки подложкой (основой).

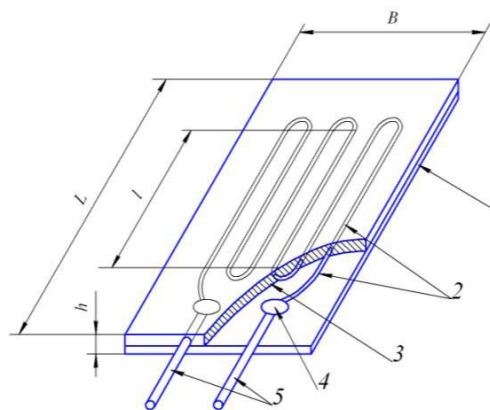


Рис. 3. Схема используемых тензорезисторов: 1 – тонкая прямоугольная полоска из бумаги; 2 – плоская петлеобразная проволочная обмотка прямоугольной формы (решетка); 3 – специальный клей; 4 – узел перехода; 5 – выводы из медной проволоки

Разработанный комплекс является эффективным измерительным инструментом для решения разнообразных научно-исследовательских и учебных задач. Он позволяет легко перестраивать

измерительный эксперимент, трансформируя конфигурацию комплекса, постепенно наращивать его функциональность и производительность путем поэтапного доукомплектования измерительными модулями, в том числе новыми моделями.

Результаты исследований. Рассмотрим применение предложенного комплекса.

Проведем калибровку тарированной балки для настройки измерительного комплекса. Установив максимальную чувствительность усилителя, запишем показания АЦП для десяти этапов нагружения и разгрузки балки в табл. 1.

Таблица 1

№ экспер.		Значения миллиамперметра при нагрузке тарированной балки										
		Показание стрелочного индикатора										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
		Показание миллиамперметра										
1	Нагр.	0	17	32	49	67	84	99	116	135	157	177
	Разг.	-9	6	25	44	60	81	98	116	134	151	177
2	Нагр.	0	19	38	53	74	94	110	127	145	164	185
	Разг.	-6	6	24	43	65	84	105	121	140	148	185
3	Нагр.	0	22	36	52	72	89	108	123	144	165	181
	Разг.	0	13	31	48	67	87	104	120	138	156	181
4	Нагр.	0	22	37	54	74	92	111	127	147	165	182
	Разг.	-4	11	30	49	68	87	106	123	140	155	182
5	Нагр.	0	24	40	58	77	96	113	130	151	171	191
	Разг.	4	17	34	53	73	92	111	129	145	165	191
6	Нагр.	0	19	36	53	75	98	113	133	152	170	189
	Разг.	1	17	34	56	74	92	111	129	146	164	189
7	Нагр.	0	17	34	51	70	91	106	124	145	164	183
	Разг.	-1	14	29	48	67	85	105	120	139	159	183
8	Нагр.	0	18	36	54	75	98	111	130	149	171	191
	Разг.	2	18	36	57	72	92	110	128	148	166	191
9	Нагр.	0	20	38	57	77	95	113	128	145	167	184
	Разг.	-5	13	33	51	70	88	106	125	142	161	184
10	Нагр.	0	22	38	56	76	96	110	127	145	166	183
	Разг.	-4	13	34	52	69	89	106	123	141	160	183

Коэффициент зависимости перемещения прогиба балки от напряжения [9] (на базе чего построен график рис. 4):

$$\sigma = \frac{f \cdot E \cdot t}{2 \cdot A} = f \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 4}{2 \cdot 4583} = 91,6 f.$$

Как видно из графика, точность измерения практически одинакова для всех этапов.

Рассмотрим измерение напряженно-деформированного состояния металлоконструкции коробчатой балки с помощью АЦП.

С целью измерения напряженно-деформированного состояния в центральном сечении нижнего пояса балки по принципу полумостовой схемы наклеены датчики, имеющие сопротивление

$R = 100$ Ом. Датчики подключаются к усилителю и блоку питания, а усилитель – к АЦП с последующей связью через USB с ПК. Общая схема измерительной системы и балки представлена на рис. 5.

Вторым этапом калибруется баланс моста. После установки в нулевую точку можно начинать нагружение металлоконструкции с помощью динамометра. В соответствии с паспортом динамометра с помощью стрелочного индикатора задается требуемое усилие нагружения. Изменения сопротивления тензодатчиков записываются АЦП в программу Power Graph. Результаты эксперимента представлены на рис. 6.

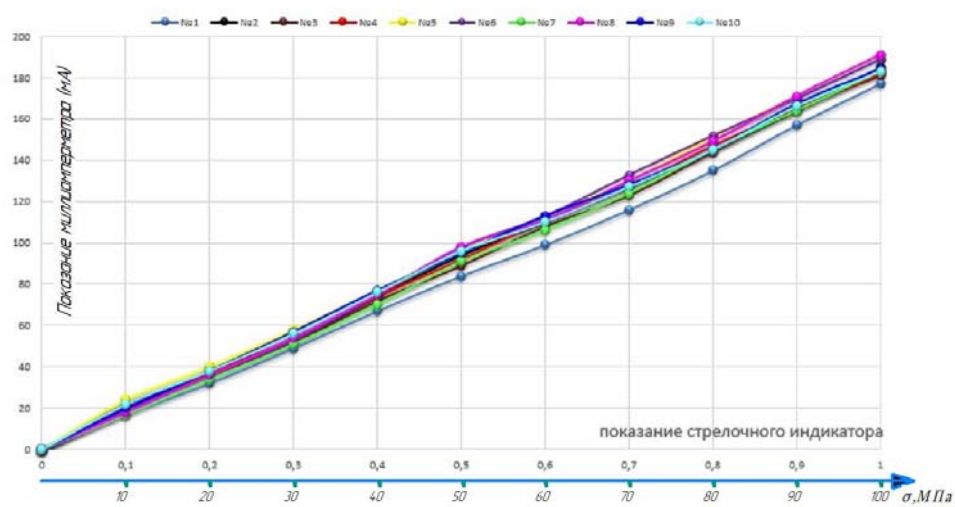


Рис. 4. График калибровки тарированной балки



Рис. 5. Общий вид измерительной системы и коробчатой балки

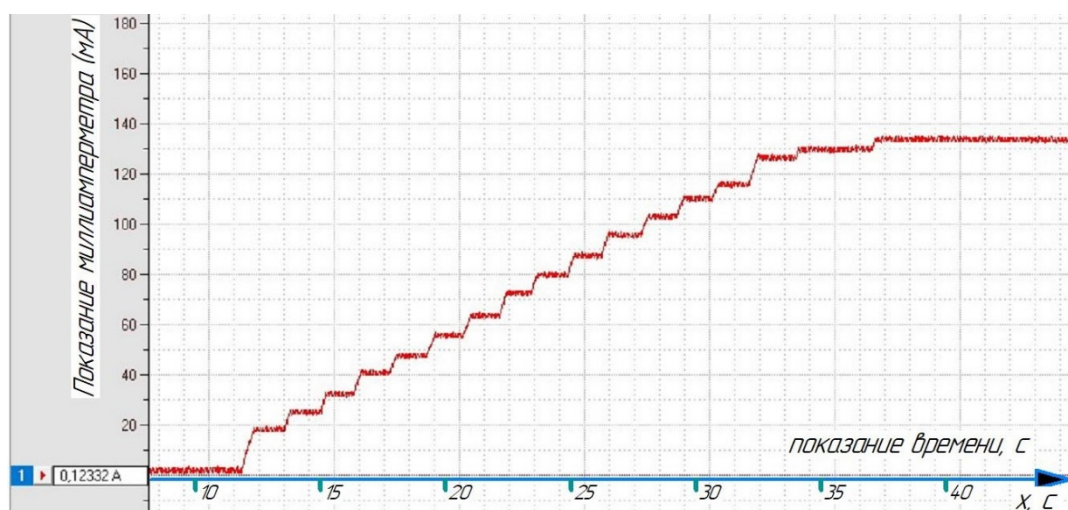


Рис. 6. Результаты эксперимента

Значение силы тока, полученное в максимальной точке, равно – 136 мА.

Используя ранее записанные данные измерения на тарированной балке [10], переводим полученные результаты в напряжение и получаем – 74 МПа. Проведенный эксперимент показывает, что полученный результат близок к расчетному, выполненному с помощью метода конечных элементов [11]. Это подтверждает достоверность метода, а также правильности построения 3D модели и дальнейшей расчетной модели. Предложенная методика была использована при оценке ресурса балок мостового крана-штабелера при нагрузке в 1 тонну. На основании проведенных исследований было сделано заключение об остаточном эксплуатационном ресурсе металлоконструкции, опирающееся на результаты измерений остаточной прочности.

С экономической точки зрения, научно обоснованное продление безопасной эксплуатации грузоподъемной машины является значительным плюсом для любой отрасли, где используются грузоподъемные машины, отработавшие свой нормативный срок службы. Замена одного или нескольких кранов является дорогостоящей процедурой, так как, кроме прямых затрат на приобретение машины, влечет еще и потери, связанные с простоем транспортно-технологической системы.

В процессе исследования был выявлен ряд особенностей:

– поскольку полумостовая схема представляет собой одну фазу дифференциальной мостовой схемы, то данный источник сигнала схож по электрическим свойствам с низкоомным однофазным выходом с общей землей, у которого роль общего провода выполняют все остальные 2 или 4 провода при трёх- или пятипроводной схеме, соответственно. Для улучшения соотношения сигнал/шум в данной сигнальной цепи, пожалуй, единственно возможной мерой является экранирование;

– в общем случае для достижения желательного малого начального разбаланса моста разброс сопротивлений тензорезисторов, как правило, не должен превышать $\pm 0,01\%$, при этом имеет значение разброс сопротивлений в парах смежных резисторов в мосте (при любом условном разбиении на смежные пары).

Следует отметить, что разбаланс моста, измеряемый полномостовым датчиком и пропорциональный деформации, является безразмерной величиной, равной отношению измеренных напряжений. Положительный знак разбаланса моста соответствует состоянию сжатия. Отрицательный знак разбаланса будет соответствовать противоположному состоянию растяжения тензорезисторов.

Выводы. С помощью предложенной измерительной системы получена возможность

регистрации нагрузок, возникающих в металлоконструкции грузоподъемных машин, то есть мониторить реальную картину их работы как в прошедшем времени, так и в настоящем. Это позволяет накопить данные о напряженно-деформированном состоянии грузоподъемной машины, что позволяет оценить ее остаточный ресурс путем сравнения измеренных данных с расчетным компьютерно-инженерным анализом (CAE).

Л и т е р а т у р а

1. Соловьев, А.Е. О состоянии промышленной безопасности на промышленных предприятиях, расположенных на территории Свердловской области и принимаемых мерах по ее обеспечению [Текст] / А.Е. Соловьев // Сб. докладов и сообщений III Уральского Конгресса подъемно-транспортного оборудования. – Екатеринбург. – 2010. – С. 20-30.
2. Разработка и производство электронного измерительного оборудования. Режим доступа: URL. – [Электронный ресурс] – <https://www.lcard.ru/>
3. Гарманов, А.В. Подключение измерительных приборов / А.В. Гарманов. – Москва: 2003. – 41 с.
4. Измайлов, Д.Ю. Виртуальная измерительная лаборатория PowerGraph / Д.Ю. Измайлов // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2007. – № 3. – С. 42-47.
5. Измайлов, Д.Ю. Виртуальная измерительная лаборатория PowerGraph / Д.Ю. Измайлов // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2007. – № 3. – С. 42-47.
6. PowerGraph. Руководство пользователя. URL: <http://www.powergraph.ru>.
7. Парахуда, Р.Н. Автоматизация измерений и контроля: курс лекций / Р. Н. Парахуда, В.И. Шевцов. – СПб.: СЗТУ, 2002. – 75 с.
8. Путилин, А.Б. Вычислительная техника и программирование в измерительных информационных системах: учебное пособие для вузов / А.Б. Путилин. – М.: Дрофа, 2006. – 447 с.
9. Девин Л.Н. Применение пакета PowerGraph для исследования процесса резанья / Л.Н. Девин, А.Г. Сулима // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2008. – № 3. – С. 24-26.
10. Мирошников А.А., Будиков Л.Я., Рекиян П.Н. Анализ напряженно-деформированного состояния металлоконструкции с помощью тензометрии на базе аналого-цифрового преобразователя // Механическое оборудование металлургических заводов. – 2018. – № 2 (11). – С. 32-37.
11. Будиков Л.Я., Мирошников А.А. 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». – Луганск: ГОУ ВПО ЛНР, 2017. – С. 125-131.

R e f e r e n c e s

1. Solov'ev, A.E. O sostoyanii promyshlennoj bezopasnosti na promyshlennyh predpriyatiyah, raspolzhenykh na territorii Sverdlovskoj oblasti i prinimaemykh merah po ee obespecheniyu [Tekst] / A.E. Solov'ev // Sb. dokladov i soobshchenij III Ural'skogo

Kongressa pod'emno-transportnogo oborudovaniya. – Ekaterinburg. – 2010. – P. 20-30.

2. Razrabotka i proizvodstvo elektronnoho izmeritel'nogo oborudovaniya. Rezhim dostupa: URL. – [Elektronnyj resurs] – <https://www.lcard.ru/>

3. Garmanov A.V. Podklyuchenie izmeritel'nyh priborov / A.V. Garmanov. – Moskva: 2003. – 41 p.

4. Izmajlov D.Yu. Virtual'naya izmeritel'naya laboratoriya PowerGraph / D.Yu. Izmajlov // Promyshlennye izmereniya, kontrol', avtomatizaciya, diagnostika. – 2007. – № 3. – P. 42-47.

5. Izmajlov D.Yu. Virtual'naya izmeritel'naya laboratoriya PowerGraph / D.Yu. Izmajlov // Promyshlennye izmereniya, kontrol', avtomatizaciya, diagnostika. – 2007. – № 3. – P. 42-47.

6. PowerGraph. Rukovodstvo pol'zovatelya. URL: <http://www.powergraph.ru>.

7. Parahuda, R.N. Avtomatizaciya izmerenij i kontrolya: kurs lekcij / R.N. Parahuda, V.I. Shevcov. – SPb.: SZTU, 2002. – 75 p.

8. Putilin, A.B. Vychislitel'naya tekhnika i programmirovaniye v izmeritel'nyh informacionnyh sistemah: uchebnoye posobie dlya vuzov / A.B. Putilin. – M.: Drofa, 2006. – 447 p.

9. Devin L.N. Primenenie paketa PowerGraph dlya issledovaniya processa rezan'ya / L.N. Devin, A.G. Sulima // Promyshlennye izmereniya, kontrol', avtomatizaciya, diagnostika. – 2008. – № 3. – P. 24-26.

10. Miroshnikov A.A., Budikov L.Ya., Rekiyan P.N. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya metallokonstrukcii s pomoshch'yu tenzometrii na baze analogo-cifrovogo preobrazovatelya // Mekhanicheskoe oborudovanie metallurgicheskikh zavodov. – 2018, № 2 (11). – P. 32-37.

11. Budikov L.Ya., Miroshnikov A.A. Ocenka ostatochnogo resursa mostovykh kranov primeneniem CALS tekhnologii i metodov chislennogo analiza // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii prepodavatelej, studentov i molodyh uchenykh «Transportnye sistemy i sovremennye tekhnologii». – Lugansk: GOU VPO LNR, 2017. – P. 125-131.

Kostrub V.A., Miroshnikov A.A.
DEVELOPMENT OF MULTICHANNEL STRAIN GAUGE SYSTEM

Improving the efficiency of transport systems has been and remains today an absolute problem. It depended on the efficiency of the operation and operation of all its links, especially at the beginning of the formation and at the end of the dispersion of cargo flows, where a large number of cranes were operated. At metallurgical and machine-building plants, lifting cranes are included in the main chain of the transport system, as the main equipment that provides the movement of raw materials for technological operations. At the same time, one of the most important issues of their operation is a reliable assessment of the reliability and residual life of such machines. The method of estimation of residual strength and residual life of metal structures of load-lifting machines is considered in the work, a hardware solution for the measuring complex according to its implementation is proposed.

Key words: stress-strain state of steel structure, bridge crane, residual resource, measuring laboratory.

Коструб Владимир Алексеевич, к.т.н., доц., зав. кафедрой «Подъемно-транспортная техника» ГОУ ВО ЛНР «Луганский Государственный Университет имени Владимира Даля».

Kostrub Vladimir, candidate of technical Sciences, associate professor, man. of department of the «Chair Hoisting-and-transport equipment », State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Мирошников Алексей Александрович, старший преподаватель кафедры «Подъемно-транспортная техника» ГОУ ВО ЛНР «Луганский Государственный Университет имени Владимира Даля».
E-mail: topalexengineering@gmail.com

Miroshnikov Aleksey, senior teacher of the «Chair Hoisting-and-transport equipment », State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: topalexengineering@gmail.com

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортные технологии» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 28.04.2021

УДК 629.33

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЕЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Крупница О.В., Замота Т.Н., Панайотов К.К.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF CARS BY IMPROVING THE DIAGNOSTIC TECHNIQUE OF THE IGNITION SYSTEM

Krupica O.V., Zamota T.N., Panajotov K.K.

Статья посвящена усовершенствованию методики диагностики системы зажигания. Рассматривается методика проверки на функционирование электронных элементов двигателя и их общее состояние. В рамках методики диагностики системы зажигания с целью ликвидации неисправности необходимо получать диагностическую информацию с первичных и вторичных цепей системы зажигания. Что позволяет по форме осциллограмм напряжения делать выводы о техническом состоянии системы зажигания. В зависимости от форм полученного диагностического сигнала можно определить неисправность. Рассматривается необходимость внедрения распределенной интеллектуальной системы удаленной диагностики системы зажигания, что позволит решить ряд задач, нацеленных на улучшение технико-экономических показателей двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: датчик, катушка зажигания, система зажигания автомобиля, диагностика, осциллограммы напряжения.

Введение. Как известно, одним из важнейших средств повышения эффективности эксплуатации автомобилей, снижения средств на техническое обслуживание и ремонт является техническая диагностика [1, 2]. Неисправность системы зажигания значительно ухудшает работу автомобиля, как следствие, увеличивается расход топлива, и снижается мощность двигателя. В бензиновых двигателях внутреннего сгорания процесс поиска и анализа неисправностей осуществляется с помощью визуального наблюдения за осциллограммами напряжения в первичной и вторичной цепи.

Диагностика системы зажигания автомобиля является составной частью комплексной системы диагностики современного транспортного средства. В статье обобщены сведения по электрооборудованию для диагностики систем зажигания автомобилей, особое внимание уделено методике получения диагностической информации. Приведены технические требования к электронным

системам и электрооборудованию, рассмотрено устройство и принцип действия системы зажигания, обобщены методы определения неисправностей. Рассмотреть вопросы программно-аппаратной диагностики системы электронного зажигания автомобиля.

Анализ последних исследований и публикаций. Система зажигания предназначена для воспламенения топливно-воздушной смеси двигателей внутреннего сгорания. Исследованиями по совершенствованию и повышению эффективности методов и средств диагностирования технического состояния системы зажигания занимались многие известные ученые: А.Г. Арженовский, Д.М. Воронин, А.С. Гребенников, И.П. Добролюбов, Н.С. Ждановский, А.Т. Клейн, С.Н. Кривцов, А.А. Монозон, И.П. Терских, А.А. Отставнов, Ю.В. Синий, А.М. Харазова, Н.В. Щетинин и др. Выполненные ими исследования были направлены на оценку влияния системы зажигания, а именно на эффективную мощность, максимальный крутящий момент, неравномерность работы цилиндров, расхода топлива, угла начала подачи топлива.

При очевидных достоинствах существующих средств и методов диагностики у них можно отметить ряд недостатков. Это зависимость от квалификации и профессионализма оператора диагноста и получения информации в момент технического обслуживания.

Цель исследования – повышение эффективности контроля технического состояния системы зажигания двигателей внутреннего сгорания с электронной системой управления за счет совершенствования методики диагностирования. Анализ необходимости внедрения удаленной распределенной интеллектуальной системы диагностики системы зажигания.

Материалы и результаты исследования. Рассмотрим методику снятия диагностической

информации с системы зажигания с индивидуальными катушками. Для этого мы можем использовать датчик Lx4 производства фирмы ROTKEE (рис. 1).

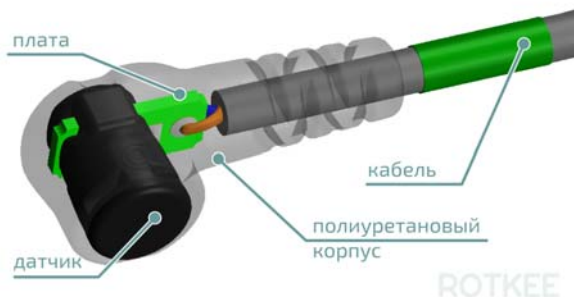


Рис. 1. Структурная схема диагностического датчика Lx4

Использование этого датчика в диагностике возможно с количеством цилиндров до 4. Этот датчик позволяет проводить диагностику до 4 цилиндров. Датчик состоит из четырех измерительных головок, что позволяет снимать диагностическую информацию сразу с 4х катушек зажигания и тем самым дает возможность

анализировать аналоговые сигналы сразу от всех цилиндров двигателя (рис. 2).

В связи с тем, что импульсы в системе зажигания в различных цилиндрах не происходят в один и тот же момент времени, возможно их суммирование от всех измерительных головок и получение на выходе один сигнал с набором последовательных импульсов, которые в целом характеризуют работу системы зажигания. Выходное напряжение с датчика может изменяться от -200 до 200 мВ. Производитель рекомендует частоту дискретизации для аналога цифрового преобразователя 250 кГц или 4 микросекунды.

Для синхронизации полученной информации можно использовать датчик Lx1 (рис. 3). Корпус датчика выполнен из полиуретана и защищает его чувствительные элементы от механических повреждений.

Катушка зажигания двигателя внутреннего сгорания использует принцип повышающего трансформатора и включает в себя две обмотки и общий сердечник. Изменение силы тока в первичной обмотке катушки зажигания приводит к возникновению ЭДС во вторичной обмотке (рис. 4).

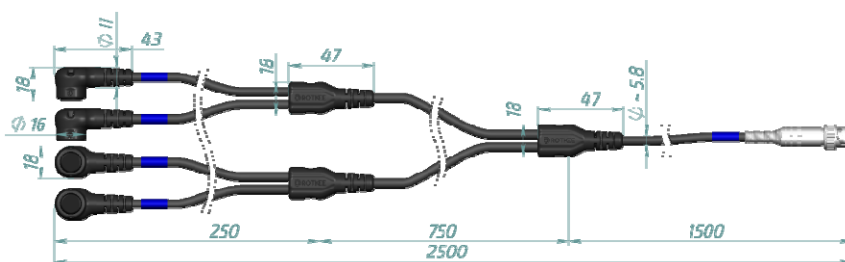


Рис. 2. Конструктивные особенности датчика Lx4

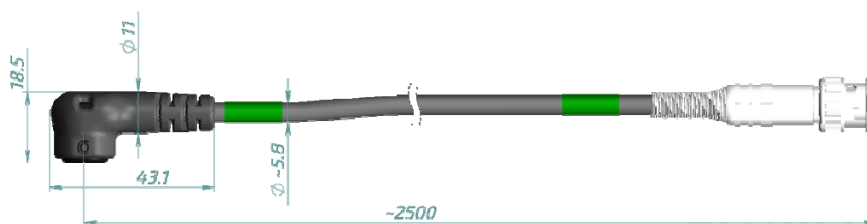


Рис. 3. Конструктивные особенности датчика Lx1



Рис. 4. Принцип действия индуктивного датчика

Если поместить дополнительную индукционную катушку в электромагнитное поле катушки зажигания, то в ней появится ЭДС пропорционально изменениям магнитного поля в индукционной катушке. Соответственно мы получаем осциллограмму вторичного напряжения.

Качество полученного сигнала во многом зависит от положения датчика относительно поля катушки. Поэтому, чтобы обеспечить качество измерительного сигнала следует, придерживаться следующих рекомендаций:

1. Обеспечить расположение оси симметрии датчика вдоль оси сердечника катушки зажигания.

2. Расстояние между катушкой зажигания и головкой датчика должно быть минимальным.

Когда визуально нет возможности определить тип катушки зажигания, то оптимальное положение датчика можно определить практически, изменяя его положение относительно катушки зажигания до момента появления на осциллографе сигнала с наибольшей амплитудой.

В качестве тестера используется прибор MT Pro4. Весь этот процесс рассмотрим на примере

автомобиля Seat Ibiza с двигателем CJBV объёмом 4 литра.

На первом этапе необходимо получить доступ к катушкам зажигания. Для этого необходимо снять защитную крышку с головки двигателя. Датчики производителем рекомендуется закреплять при помощи двухстороннего скотча. Поверхность катушки очищается от пыли и грязи. Методика установки датчика на катушки зажигания представлена на рис. 5.

По своим характеристикам все головки датчика Lx4 абсолютно идентичны, и не имеет значения, какая головка на каком цилиндре будет закреплена. Главное расположить их абсолютно соосно с сердечником катушки. На втором этапе устанавливается датчик синхронизации, качество сигнала от этого датчика не важно (нужен только фронт сигнала). Поэтому достаточно зафиксировать его в области катушки 1 цилиндра, чтобы он фиксировал импульс напряжения прибора.

На следующем этапе переходим к настройкам программного обеспечения. Интерфейс программного обеспечения представлен на рис. 6.



Рис. 5. Методика установки датчика на катушки зажигания



Рис. 6. Интерфейс измерительного устройства MT Pro4

При помощи интерфейса устанавливаем рабочее окружение и в «Индивидуальное (Lx4 6)». При этом автоматически настраиваются параметры осциллографа для записи соответствующего сигнала, а также появляется вкладка анализа вторичного напряжения, позволяющая выполнять автоматический анализ выбранного сигнала и выводить статистику. Как правило, все настройки можно оставить без изменений, если не планируете изменять назначение канала. Нужно заметить, что на тестируемом автомобиле порядок работы цилиндра должен совпадать с указанным в настройках. Необходимо обратить внимание на активные каналы. Программа рекомендует, к какому каналу какой датчик подключать, а также делает необходимую настройку нужного диапазона. В

соответствии с рекомендациями подключаем датчики к осциллографу. К 8 каналу датчик Lx4, датчик синхронизации к 9 каналу. На следующем этапе можем приступить к проведению самого теста. Перед запуском двигателя необходимо проверить, что кабель для датчиков и другого диагностического оборудования находится на безопасном расстоянии от движущихся деталей автомобиля, а также убедиться, что коробка переключения передач находится в нейтральном положении, и только после этого переходим к запуску двигателя. В интерфейсе делаем активным окно «Осциллограф» и нажимаем кнопку – «Пуск» для получения сигнала. Сигнал синхронизации представлен на рис. 7.

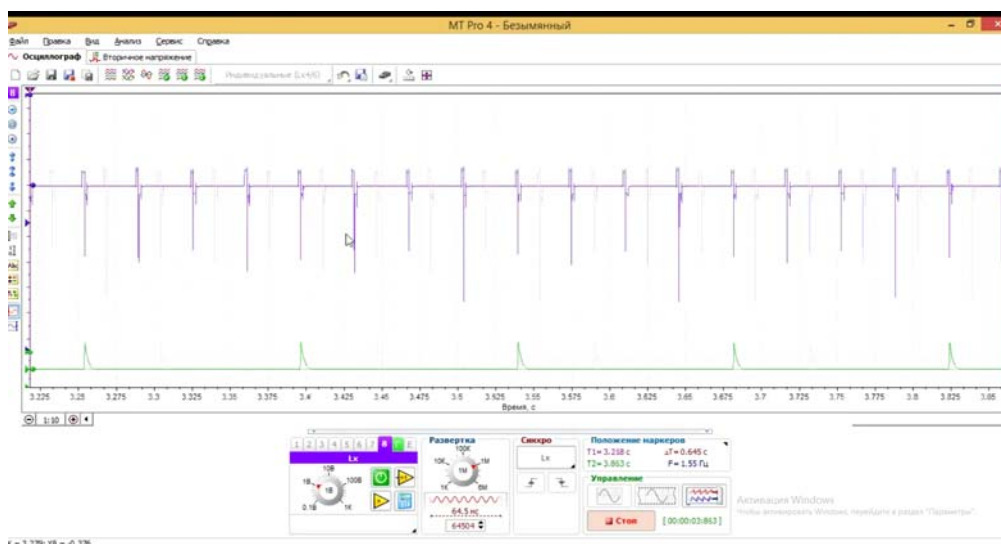


Рис. 7. Сигнал синхронизации системы зажигания

После того как мы убедились, что сигнал имеет ожидаемую форму и достаточную амплитуду, переходим на вкладку «Вторичное напряжение». Нажимаем пуск, и при этом сразу начинается анализ сигнала на лету с отображением данных статистики, которая представлена на рис. 8.

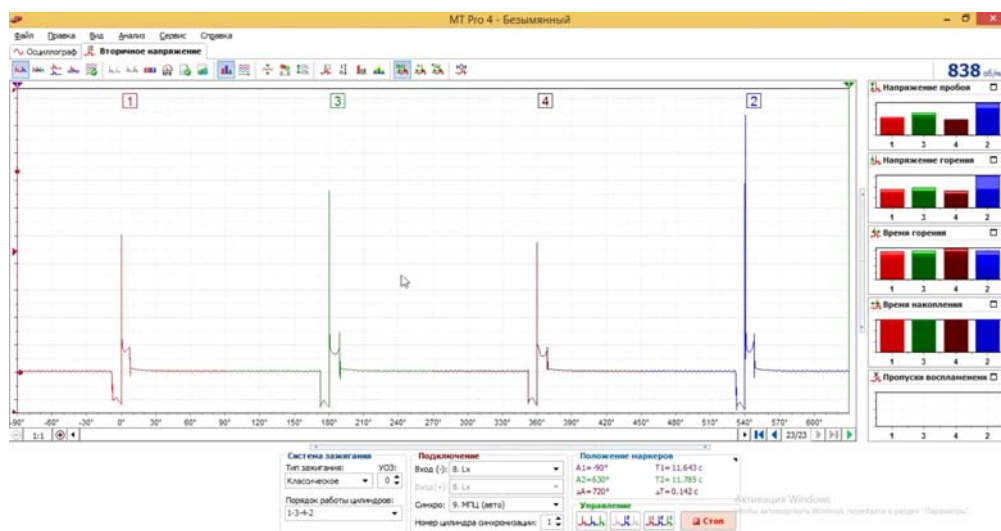


Рис. 8. Осциллограммы вторичного напряжения системы зажигания на холостом ходу

Как правило, для выявления большинства неисправностей необходимо выполнить несколько плавных и резких прогазовок. Это необходимо для того, чтобы в момент искрообразования повысить давление в цилиндре и увеличить нагрузку на систему зажигания. При таких условиях проявляется большинство дефектов катушки зажигания, проводов, колпачков и свечей. По левой части экрана отображается сигнал в соответствии с принадлежностью его к определённому цилиндру, а справа в соответствии со статистикой в виде пар графика. Отображение осциллограмм вторичного

напряжения системы зажигания при изменении частоты вращения двигателя представлено на рис. 9.

Необходимо обращать внимание на сравнение временных характеристик сигнала от разных цилиндров. Для этого рекомендую переключить режим наложения сигналов и включить отображение статистики в виде линейных графиков. В таком режиме удобно находить отклонения в работе одного цилиндра от остальных. На следующем этапе переходим к подробному анализу именно этого участка на данной осциллограмме рис. 10.

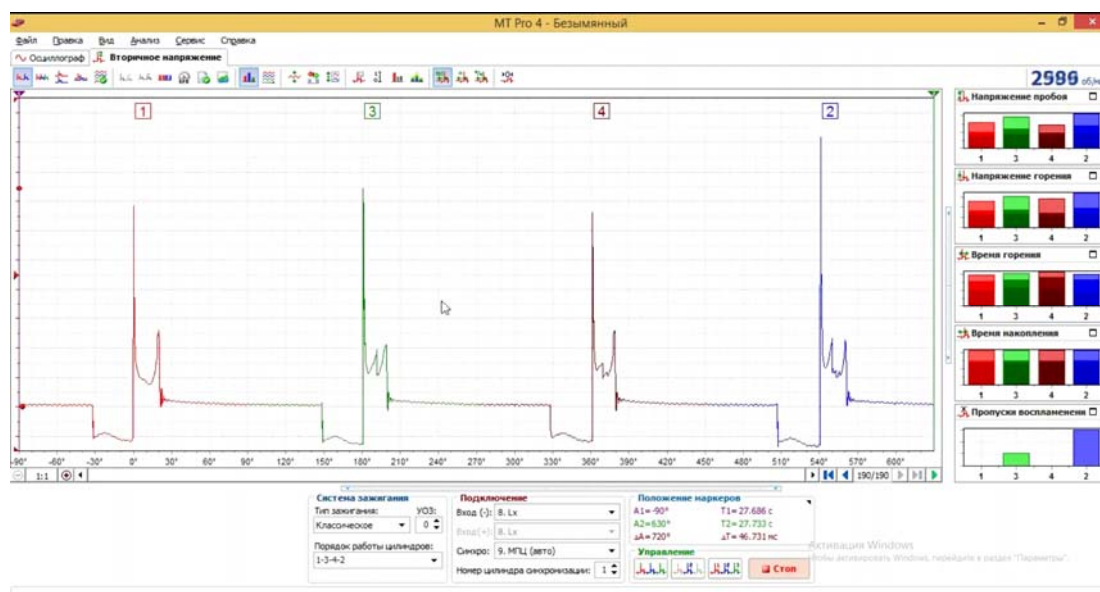


Рис. 9. Осциллограммы вторичного напряжения системы зажигания при изменении частоты вращения двигателя

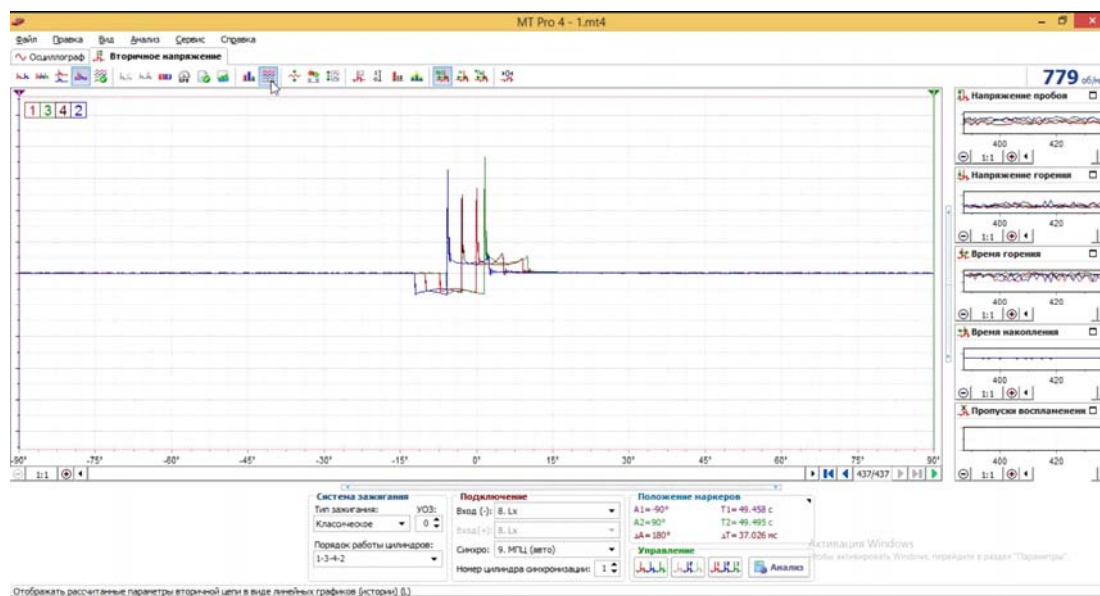


Рис. 10. Сравнение временных характеристик сигнала от разных цилиндров

Критических моментов в работе анализируемой системы зажигания не наблюдается. Сигнал соответствует исправно работающей системе зажигания. Об этом говорит периодичность и

повторяемость сигнала. После завершения теста демонтируем все датчики и возвращаем все защитные элементы двигателя в исходное состояние.

Можно выделить следующие недостатки существующей методики диагностики системы зажигания:

- невозможность диагностики во время движения автомобиля;
- регистрируемый сигнал выводится на экран в виде графика импульса или может быть сохранен в массив данных, но функция анализа этого массива не предусмотрена;
- анализ проводит специалист, опираясь на свой опыт, а при его недостатке это может привести к ошибкам диагностирования;
- отсутствие оперативного контроля за изменением величины диагностических параметров не позволяет устранять неисправности на начальной стадии их появления;
- нет автоматизированной системы создания и заполнения базы данных непрерывного изменения

диагностических параметров системы зажигания при возрастании пробега;

- невозможность применения современных методов анализа, таких как метод опорных векторов, нейронных сетей, алгоритмов на базе нечеткой логики, генетических алгоритмов.

Мы видим решение существующих недостатков методики диагностики автомобилей во внедрении распределенной интеллектуальной системы удаленной диагностики, включающей в себя адаптер, подключаемый к диагностическому разъёму автотранспортного средства, промежуточных серверов, и удаленного сервера, обеспечивающего обработку диагностической информации. Схема взаимодействия распределенной интеллектуальной системы управления и информирования с ЭБУ автотранспортного средства показана на рис. 11.

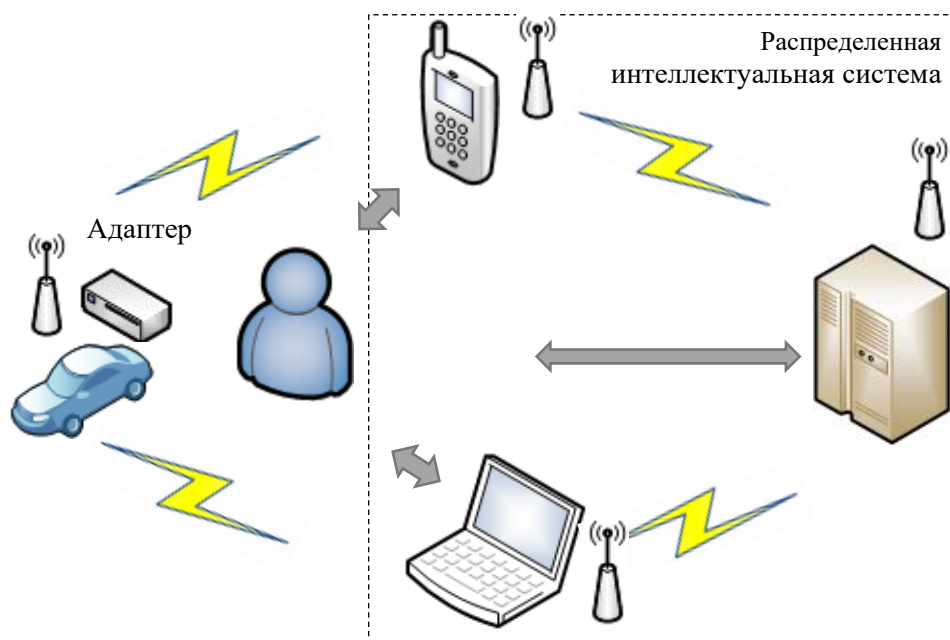


Рис. 11. Схема взаимодействие распределенной интеллектуальной системы диагностики системы зажигания

Сбор диагностических данных осуществляет адаптер, подключенный к бортовой сети автотранспортного средства. Данные могут быть обработаны локально, через беспроводное соединение Wi-Fi на ноутбуке или смартфоне и переданы на удаленный сервер. Для приема сигналов с навигационных спутников адаптер может быть оснащён модулем GPS. С целью обеспечения независимости от промежуточных устройств (ноутбука или смартфона) доступ к удалённому серверу можно получить через интернет сеть с помощью GSM модуля.

Адаптер распределенной интеллектуальной системы включает в себя три высокопроизводительных контроллера:

- **ELM 327** – контроллер интерфейсов выполняет функцию обеспечения работы

универсального диагностического устройства с различными протоколами передачи данных для работы (J1850 PWM, ISO9141-2 (K-линия)), J1850 VPW), ISO14230-4 (KWP2000 или K-линия), ISO15765-4 (CAN);

- **STM32F303VCT6** – основной контроллер, который выполняет функции обработки и получения диагностической информации от ELM 327 [3], GPS (NEO-7M) и дополнительных (пользовательских) датчиков, а также передает ее по каналам связи с помощью модуля GSM (SIM800C);

- **CP2102 NnodeMcu v3 v2** – контроллер обеспечивающий передачу данных через, беспроводное соединение Wi-Fi на ноутбук или смартфон.

Работа устройств начинается с инициализации основного контроллера и включает в себя загрузку

встроенного программного обеспечения, которое осуществляет настройку внутренних параметров (тактовой частоты генератора, портов ввода-вывода, коммуникационных интерфейсов) и запускает

алгоритм функционирования контроллера. Структурная схема программного взаимодействия диагностической системы приведена на рис. 12.

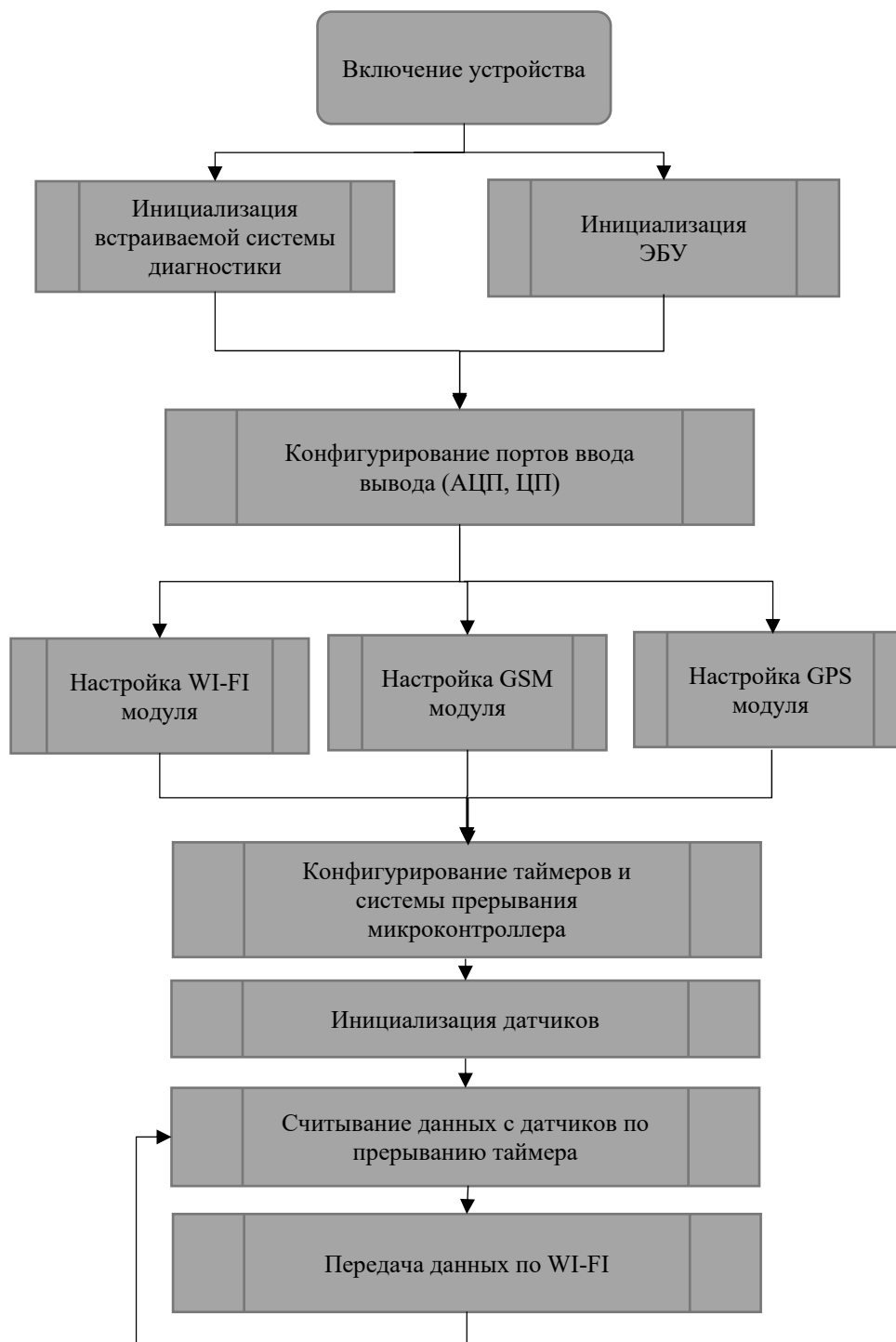


Рис. 12. Структурная схема программного взаимодействия диагностической системы

Контроллер автомобильных интерфейсов инициализируется аналогичным образом. Программа управления настраивает периферию микроконтроллера и переходит в режим ожидания команд от основного микроконтроллера, используя

протокол SPI. Модуль GPS инициализируется при получении уверенного сигнала от спутников навигации (hot режим) и начале передачи основному контроллеру данных геопозиции по интерфейсу USART, используя протокол NMEA [4]. Модуль

беспроводной связи Wi-Fi инициализируется после выхода блока в режим готовности к принятию АТ-команд, используя коммуникационный интерфейс USART. Основной микроконтроллер после окончания инициализации выполняет включение GSM-модуля.

Основной микроконтроллер ожидает ответ от GSM-модуля и состояния его готовности к работе сетью мобильного оператора, после чего переходит к основному циклу работы программы. Основным циклом работы программы является обработка поступающей от модулей информации, включая управляющие команды, и взаимодействия с микроконтроллером интерфейсов для получения диагностических данных.

Выводы. Распределенная интеллектуальная система удаленной диагностики транспортных средств позволила решить ряд задач, которые нацелены на улучшение технико-экономических показателей двигателей внутреннего сгорания и включает в себя:

1. Веб-сервер или клиентское приложение, которое будет обеспечивать удобную работу пользователю, расположенное на стационарном компьютере, смартфоне или ноутбуке. Основная его задача – это взаимодействие с сервером базы данных для считывания актуальной диагностической информации для каждого клиента. С помощью брандмауэра осуществляется защита взаимодействия сервера и клиента.

2. Для взаимодействия с адаптерами, установленными на транспортных средствах, будет использоваться сервер обработки диагностической информации. Данный сервер будет осуществлять передачу управляющих команд и диагностических данных, а также сохранять полученную информацию на сервере базы данных. Обработку диагностической информации будем осуществлять с использованием алгоритмов метода системного анализа: осуществлять распознавание и идентификацию поступающей информации, выполнять программное управление работой диагностическими адаптерами.

3. Для накопления полученной диагностической информации будет использоваться сервер базы данных, который представляет собой СУБД. Сервер базы данных связывает программные компоненты системы и может использоваться для получения статистической информации, на основе которой осуществляется прогнозирование остаточного ресурса и надёжность автотранспортного средства.

Л и т е р а т у р а

1. DzhelekarSKI P., Alexiev D. Initializing Communication to Vehicle OBDII System. Proc. Intern. Conf. ELECTRONICS, 2005, vol. 3, pp. 46-52.
2. Malekian R., Moloisane N.R., Nair L., Maharaj B.T., Chude-Okonkwo U.A.K. Design and Implementation of a Wireless OBD II Fleet Management System. IEEE Sensors J., 2017, vol. 17, no. 4, pp. 1154-1164.

3. Zhang H., Kang W. Design of the Data Acquisition System Based on STM32. Procedia Comp. Sc., 2013, vol. 17, pp. 222-228.

4. Si H., Aung Z.M. Position Data Acquisition from NMEA Protocol of Global Positioning System. IJCEE, 2011, vol. 3, no. 3, pp. 353-357.

R e f e r e n c e s

1. DzhelekarSKI P., Alexiev D. Initializing Communication to Vehicle OBDII System. Proc. Intern. Conf. ELECTRONICS, 2005, vol. 3, pp. 46-52.

2. Malekian R., Moloisane N.R., Nair L., Maharaj B.T., Chude-Okonkwo U.A.K. Design and Implementation of a Wireless OBD II Fleet Management System. IEEE Sensors J., 2017, vol. 17, no. 4, pp. 1154-1164.

3. Zhang H., Kang W. Design of the Data Acquisition System Based on STM32. Procedia Comp. Sc., 2013, vol. 17, pp. 222-228.

4. Si H., Aung Z.M. Position Data Acquisition from NMEA Protocol of Global Positioning System. IJCEE, 2011, vol. 3, no. 3, pp. 353-357.

Krupica O.V., Zamota T.N., Panajotov K.K.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF CARS BY IMPROVING THE DIAGNOSTIC TECHNIQUE OF THE IGNITION SYSTEM

The article is devoted to the improvement of the diagnostic technique for the ignition system. The method of checking the functioning of the electronic elements of the engine and their general condition is considered. As part of the methodology for diagnosing the ignition system in order to eliminate the malfunction, it is necessary to obtain diagnostic information from the primary and secondary circuits of the ignition system. This allows drawing conclusions about the technical condition of the ignition system by the form of voltage oscillograms. Depending on the shape of the received diagnostic signal, a malfunction can be identified. The necessity of introducing a distributed intelligent system for remote diagnostics of the ignition system is considered, which will allow solving a number of problems that are aimed at improving the technical and economic indicators of internal combustion engines.

Key words: sensor, ignition coil, car ignition system, diagnostics, voltage oscillograms.

Крупница Олег Владимирович, старший преподаватель кафедры информационных технологий и транспорта, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», Краснодонский факультет инженерии и менеджмента.

E-mail: kow1976@mail.ru

Krupitsa Oleg, senior lecturer of the Information Technologies and Transport Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University», Krasnodon Faculty of Engineering and Management.

E-mail: kow1976@mail.ru

Замота Тарас Николаевич, д.т.н., проф., зав. кафедры «Автомобильный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: Zamota71@gmail.com

Zamota Taras, Ph.D., head of «Automobile transport»
Department of State Educational Establishment of Higher
Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».
E-mail: Zamota71@gmail.com

Панайотов Константин Константинович, к.т.н.,
доц., декан Краснодонского факультета инженерии и
менеджмента ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный
университет имени Владимира Даля».
E-mail: k.panayotov@mail.ru

Panayotov Konstantin, associate Professor, Ph.D.,
Dean of the Krasnodon faculty of engineering and
management of State Educational Establishment of Higher
Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».
E-mail: k.panayotov@mail.ru

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, д.т.н.,
проф., проректор по научной работе и инновационной
деятельности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный
университет имени Владимира Даля».

Статья подана 1.04.2021

УДК 621.22: 621.694

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЩЕЛЕВОГО ДИФфуЗОРА, УСТАНОВЛЕННОГО НА ВЫХОДЕ ВИХРЕВОГО КЛАПАНА С ОСЕВЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ

Мальцев Я.И., Мальцева М.О., Суворова Е.Ю.

INCREASING BANDWIDTH SLOT DIFFUSER IN THE OUTLET VORTEX VALVE WITH AN AXIAL SUPPLY CHANNEL

Maltsev Y.I., Maltseva M.O., Suvorova E.Y.

Проведено планирование численного эксперимента расчета течения в вихревом клапане с осевым каналом питания и щелевым диффузором на выходе с использованием ортогонального центрального композиционного плана. Приведены результаты математического моделирования гидродинамики течения в открытом вихревом клапане с осевым каналом питания и щелевым диффузором на выходе. Получено уравнение регрессии для массового расхода в виде полинома второго порядка. Численное решение уравнений трехмерного турбулентного течения позволило установить оптимальные геометрические параметры входного канала щелевого диффузора.

Ключевые слова: вихревой клапан, односторонний выход, щелевой диффузор, геометрические параметры, математическая модель течения, уравнение Рейнольдса, SST - модель турбулентности, коэффициент расхода.

Введение. Одним из направлений развития средств и систем управления потоками сплошных сред является совершенствование характеристик и разработка новых конструкций исполнительных устройств, которые имеют высокие показатели надежности и долговечности. В особенности в таких областях с экстремальными условиями эксплуатации, как угольной, химической, транспорте, энергетики, сельском хозяйстве и др., где классические устройства с механическими регулирующими органами быстро выходят из строя, поскольку имеют подвижные трущиеся части, которые изнашиваются. В ряде случаев эта проблема решается путем использования струйных исполнительных устройств, основное преимущество которых – отсутствие подвижных контактирующих пар в регулирующих органах и как следствие высокая надежность и долговечность. Наиболее эффективными устройствами для целей управления мощными потоками сплошных сред по своим свойствам из числа известных струйных регулирующих органов являются вихревые клапаны [6].

Однако, стоит отметить основной недостаток такого типа устройств - потребление мощности в

закрытом состоянии, которое характеризуется параметрами запираания. Одним из путей снижения параметров запираания вихревых клапанов - повышение их пропускной способности за счет снижения внутреннего сопротивления проточных частей, что благоприятно сказывается и на их динамических качествах [7].

Таким образом совершенствование гидравлических характеристик вихревых регулирующих органов является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить надежность и эффективность основанных на них устройств и систем управления мощными потоками жидкостей и газов, функционирующих в неблагоприятных условиях.

Изложение основных материалов. Значительного увеличения пропускной способности можно добиться установкой диффузора на выходе вихревого клапана. Наиболее перспективным видом диффузором является щелевой диффузор, имеющий наименьшие габариты в осевом направлении. Так экспериментальные исследования [5] показали, что оптимальная высота щелевого диффузора, установленного на выходе вихревого клапана отличается от рекомендованной в [2]. Полученная характеристика имеет ярко выраженный максимум при весьма высоком значении $\mu_o = 1.8$, соответствующем значению $h/d_z = 0.217$.

Как показал анализ [4], наличие диффузора на выходе вихревого клапана приводит к невозможности применения интегральных и полуэмпирических моделей, а также моделей, основанных на интегральных соотношениях Кармана для пограничного слоя ввиду наличия режимов работы вихревого клапана, характеризующихся сильной закруткой и отрывом потока в диффузоре. Использование моделей для осесимметричного течения также невозможно, ибо, отрыв не может носить двумерный характер. Принадлежность вихревых клапанов, входящих в

состав струйных исполнительных устройств к классу макроустройств приводит к тому, что поток, протекающий через него, имеет сильно развитую турбулентную структуру. Наличие проблемы такого рода приводит к тому, что для наиболее правдоподобного математического описания необходимо использовать трехмерные уравнения Навье – Стокса осредненные по Рейнольдсу. Поскольку зачастую рабочие давления и скорости (для газообразной рабочей жидкости) невысоки, то можно ограничиться уравнениями для несжимаемой жидкости [3]:

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + F_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \nu_t) \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right];$$

где v_i - проекции осредненной составляющей вектора скорости на оси координат;
 F_i - проекции вектора массовых сил на оси координат;
 ρ - плотность среды;
 p - статическое давление.

Для замыкания математической модели к уравнениям движения необходимо добавить уравнение неразрывности

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0;$$

и адекватную модель турбулентности.

Как показывает практика, наиболее оптимальной моделью турбулентности является модель переноса сдвиговых напряжений - SST предложенной Ментером [1]. Она объединяет свойств “ k - ϵ ” и “ k - ω ” моделей турбулентности, описывающих соответственно внешнее и пристеночное течения.

Уравнения переноса кинетической энергии k турбулентности

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j k)}{\partial x_j} = \\ = P - \beta^* \rho \omega k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]. \end{aligned}$$

Уравнения переноса удельной диссипации ω турбулентности

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j \omega)}{\partial x_j} = \frac{\gamma}{\nu_t} P - \beta \rho \omega^2 + \\ + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \\ + (1 - F_1) \frac{\rho \sigma_{\omega 2}}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \end{aligned},$$

где

$$P = \tau_{ij} \frac{\partial v_i}{\partial x_j};$$

$$\tau_{ij} = \mu_t \left(2S_{ij} - \frac{2}{3} \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij};$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right); \quad \mu_t = \frac{\rho a_1 k}{\max(a_1 \omega, \Omega F_2)};$$

$$\varnothing = F_1 \varnothing_1 + (1 - F_1) \varnothing_2;$$

$$F_1 = \tanh(\arg_1^4);$$

$$\arg_1 = \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega d}, \frac{500\nu}{d^2 \omega} \right), \frac{4\rho \sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} D^2} \right];$$

$$CD_{k\omega} = \max \left(2\rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-20} \right);$$

$$\arg_2 = \max \left(2 \frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega d}, \frac{500\nu}{d^2 \omega} \right);$$

$$\nu_t = \frac{\mu_t}{\rho}, \quad \Omega = \sqrt{2\Omega_{ij}\Omega_{ij}}; \quad \Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} - \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right);$$

$$\tilde{P} = \min(P, 20\beta^* \rho \omega k);$$

$$\gamma_1 = \frac{\beta_1}{\beta^*} - \frac{\sigma_{\omega 1} k^2}{\sqrt{\beta^*}}; \quad \gamma_2 = \frac{\beta_2}{\beta^*} - \frac{\sigma_{\omega 2} k^2}{\sqrt{\beta^*}};$$

Константы, входящие в уравнения модели:
 $\sigma_{k1} = 0.85$; $\sigma_{\omega 1} = 0.5$; $\beta_1 = 0.075$;
 $\sigma_{k2} = 1.0$; $\sigma_{\omega 2} = 0.856$; $\beta_2 = 0.0828$;
 $\beta^* = 0.09$; $k = 0.41$; $a_1 = 0.31$.

Первым шагом в реализации численного метода является построение расчетной сетки и разбиение расчетной области на контрольные объемы.

Проточная часть вихревого клапана представляет собой тело вращения сложной формы (рис. 1).

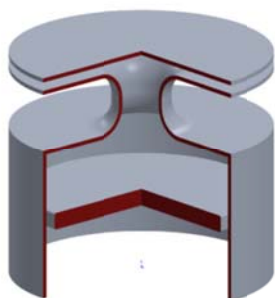


Рис. 1. Модель вихревого клапана с осевым каналом питания и щелевым диффузором на выходе

Для лучшего разрешения малых деталей геометрии расчетной области и высоких градиентов рассчитываемых переменных будем использовать неструктурированную тетраэдрическую сетку (рис. 2).



Рис. 2. Неструктурированная расчетная сетка

В задачах расчёта гидрогазодинамики возникает необходимость построения сетки в области пограничного слоя. Требования к такой сетке заключается в том, что её ячейки должны сгущаться к стенке слоями, ортогональными границе. В двумерном случае ячейки сетки пограничного слоя представляют собой четырёхугольники, в трёхмерном случае – шестигранники и призмы (в зависимости от вида сетки в ядре потока).

Для обеспечения качественного описания процессов, протекающих в пограничном слое

расчетная сетка у твердых стенок содержит 10 слоев призматических элементов (рис. 3).

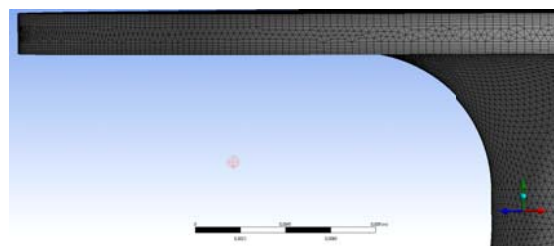


Рис. 3. Призматическая сетка в области пограничного слоя

На первом этапе было проведено несколько проверочных расчетов с различными размерами ячеек расчетной сетки для обеспечения независимости решения от последней.

Результаты расчетов в виде картин течения в проточной части вихревого клапана с диффузором на выходе приведены на рис.4-5.

Полученные результаты показали, что поток при прохождении расширяющегося участка выходного канала в следствии инерционности рабочей среды пытается оторваться от стенки, что вызывает деформацию эпюры скорости и в свою очередь снижает пропускную способность клапана. Аналогичная картина складывается в щелевом диффузоре.

Оптимизация геометрических параметров щелевого диффузора может позволить получить более равномерные эпюры скорости и, как следствие, лучшую пропускную способность.

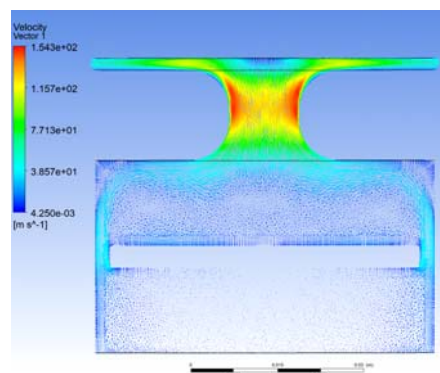


Рис. 4. Поле скоростей в плоскости симметрии клапана

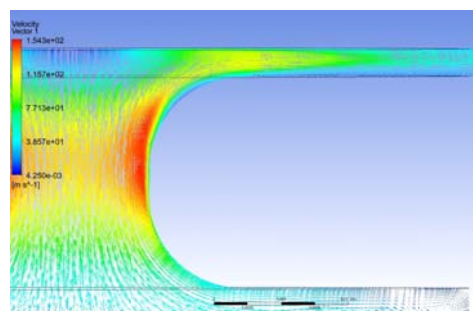


Рис. 5. Поле скоростей в плоскости симметрии диффузора

Для нахождения уравнения регрессии воспользуемся ортогональным центральным композиционным планом. В качестве варьируемых факторов выберем такие геометрические параметры щелевого диффузора (рис. 6): радиус скругления на входе в диффузор R , длина цилиндрического участка h_c , высота щели диффузора h_d , которые, как показали литературные источники и эксперименты, определяют эффективность работы диффузора.

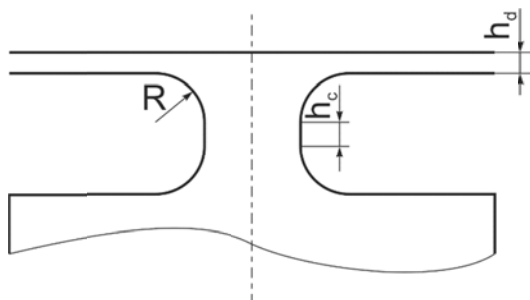


Рис. 6. Варьируемы параметры

Интервалы варьирования и кодирование каждого фактора приведены в таблице 1, а в таблице 2 приведена матрица планирования эксперимента.

Таблица 1

Исходные данные. Кодирование факторов

	-1,682	-1	0	1	1,682
R , мм	6,000	6,374	8,000	9,626	10,00
h_c , мм	0,000	0,375	2,000	3,626	4,000
h_d , мм	1,800	1,893	2,300	2,707	2,800

Таблица 2

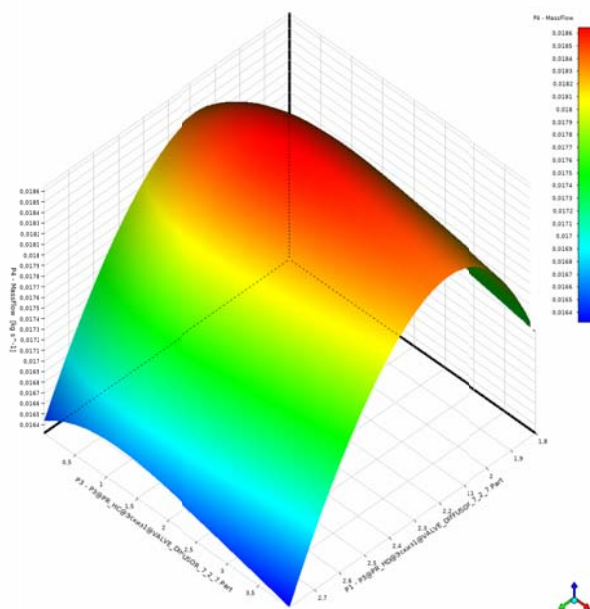
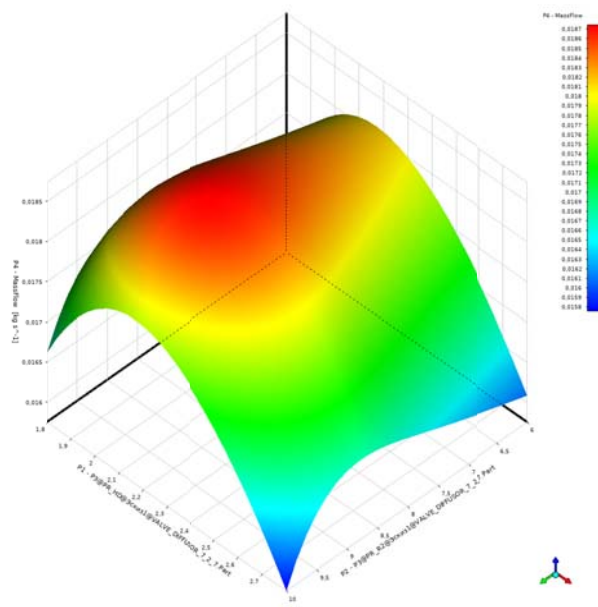
Матрица планирования

№ опыта	X_1	X_2	X_3	Y
Ядро плана				
1	-1	-1	-1	0,0173
2	-1	-1	+1	0,0166
3	+1	-1	-1	0,0177
4	+1	-1	+1	0,0169
5	-1	+1	-1	0,0174
6	-1	+1	+1	0,0166
7	+1	+1	-1	0,0175
8	+1	+1	+1	0,0165
Звездные точки				
9	-1,682	0	0	0,0180
10	1,682	0	0	0,0177
11	0	-1,682	0	0,0182
12	0	1,682	0	0,0182
13	0	0	-1,682	0,0175
14	0	0	1,682	0,0166
Центральные точки				
15, 16, 17	0	0	0	0,0186

Результаты исследований. В соответствии с планом эксперимента проведено 15 численных экспериментов по расчету течения в вихревом клапане с щелевым диффузором на выходе,

результаты которых внесены в столбец Y таблицы 2. В качестве отклика принят массовый расход через клапан.

Графики функции отклика при фиксированной одной переменной в центральной точке плана эксперимента приведены на рис. 7-9.

Рис. 7. График функции отклика при фиксированном значении $R = 8$ Рис. 8. График функции отклика при фиксированном значении $h_c = 2,001$

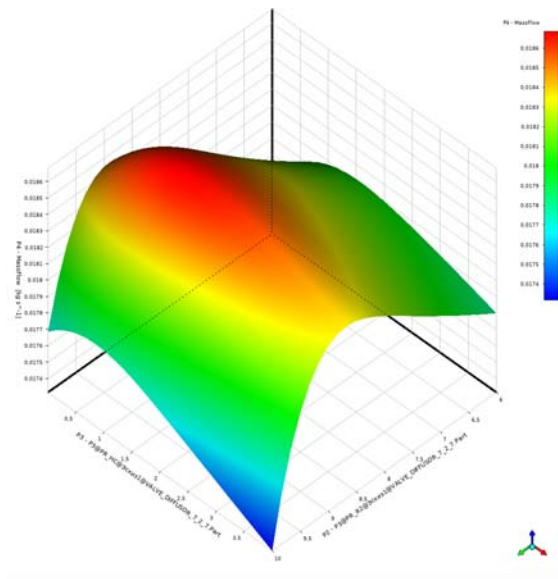


Рис. 9. График функции оклика при фиксированном значении $h_d = 2$

На основе проведенных экспериментов и плана эксперимента были получены коэффициенты уравнения регрессии. Само уравнение приведено ниже.

$$m = 0,0018 + 0,6189 \cdot X_1 + 0,3736 \cdot X_2 + 0,0039 \cdot X_3 + \\ + 0,0066 \cdot X_1^2 + 0,1302 \cdot X_2^2 + 0,0130 \cdot X_3^2 + \\ + 0,1632 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,0798 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,2150 \cdot X_1 \cdot X_3.$$

Для оценки качества полученной регрессии воспользуемся таким параметром, как коэффициент детерминации:

$$r^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS},$$

где $RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ - сумма квадратов регрессионных остатков,

а $y_i, \hat{y}_i$ - соответственно, фактические и расчетные значения массового расхода;

$$TSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \text{общая дисперсия.}$$

Полученное значение $r^2 = 0,9895$, говорит об очень хорошей корреляции.

Поскольку коэффициенту детерминации присуща проблема, которая заключается в том, что его значение увеличивается (не уменьшается) от добавления в модель новых переменных, даже если эти переменные никакого отношения к объясняемой переменной не имеют. Для избавления от данного недостатка воспользуемся скорректированным коэффициентом детерминации:

$$r_{adj}^2 = 1 - \frac{RSS/(n-k)}{TSS/(n-1)} = 1 - \left(1 - r^2 \frac{(n-k)}{(n-1)} \right) = 0,9605.$$

Полученная величина скорректированного коэффициента детерминации так же подтверждает хорошую корреляцию.

При этом максимальный массовый расход через клапан составил $m = 0.0188 \text{ кг/с}$, при $R = 8,801$, $h_c = 1,253$, $h_d = 2.172$.

Выводы. 1. Проведено планирование численного эксперимента расчета течения в вихревом клапане с осевым каналом питания и щелевым диффузором на выходе с использованием ортогонального центрального композиционного плана.

2. Получено уравнение регрессии для массового расхода в виде полинома второго порядка. Скорректированный коэффициент детерминации составил $r_{adj}^2 = 0,9605$, что подтверждает хорошую корреляцию.

3. Проведена оптимизация геометрических параметров щелевого диффузора, а именно радиуса скругления на входе в диффузор R , длины цилиндрического участка h_c , высоты щели диффузора h_d , что позволило увеличить пропускную способность вихревого клапана на 3,7%.

4. Для дальнейшего повышения коэффициента расхода необходимо выполнить специальное профилирование проточной части, обеспечивающее равномерный профиль скорости на входе в щелевой диффузор.

Литература

1. Гарбарук А.В., Стрелец М.Х., Шур М.Л. "Современные подходы к моделированию турбулентности", - СПб, Изд-во Политехн. ун-та, 2016. - 234 с.
2. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение, 1975. - 560 с.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Дрофа, 2003. - 840 с.
4. Мальцев Я.И. О характере течения в вихревом усилителе с диффузорным выходом // Вісник СХУ ім В.Даля. - Луганськ. - 2002. - 12 (34). - С. 132-132.
5. Сьомін Д.О. Вихрові виконавчі пристрої: В 2-х частинах. Ч.1 Однорідні робочі середовища: монографія. / Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Мальцев Я.І., Войцеховський С.В., Роговий А.С., Дмитрієнко Д.В., Мальцева М.О. - Луганськ: вид-во СХУ ім. В.Даля, 2009. - 284 с.
6. Сьомін Д.О. Підвищення ефективності переміщення вантажів трубопровідним транспортом засобами струминної арматури: Дис. д-ра техн. наук: 05.22.12 / Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. - Луганськ, 2004. - 381с.

7. Al-Shamma K.A., Royle J.K., Boucher R.F., Asquith R. Axial vortex and coanda - vortex flow controllers // Paper Fift Cranfield fluidics conference, 1972, - P. B2-13 - B2-24.

References

1. Garbaruk A. V., Strelec M. H., Shur M. L. "Sovremennye podhody k modelirovaniyu turbulentnosti", - SPb, Izd-vo Politehn. un-ta, 2016. - 234 s.
2. Idel'chik I. E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivlenijam. - M.: Mashinostroenie, 1975. - 560 c.
3. Lojczanskij L.G. Mehanika zhidkosti i gaza. - M.: Drofa, 2003. - 840 s.
4. Mal'cev Ja.I. O haraktere techenija v vihrevom usilite s diffu-zornym vyhodom // Visnik SNU im V.Dalja. - Lugans'k. - 2002. - №12 (34). - S. 132-132.
5. S'omin D.O. Vihrovi vikonavchi pristroji: V 2-h chastinah. Ch.1 Odnoridni robochi seredovishha: monografija. / S'omin D.O., Pavljuchenko V.O., Mal'cev Ja.I., Vojcehovs'kij S.V., Rogovij A.S., Dmitrienko D.V., Mal'ceva M.O. - Lugans'k: vid-vo SNU im. V.Dalja, 2009. - 284 s.
6. S'omin D.O. Pidvishhennja efektnosti peremishhennja vantazhiv truboprovodnim transportom zasobami struminnoi armaturi: Dis. d-ra tehn. nauk: 05.22.12 / Shidnoukraïns'kij nacional'nij un-t im. Volodimira Dalja. — Lugans'k, 2004. — 381c.
7. Al-Shamma K.A., Royle J.K., Boucher R.F., Asquith R. Axial vortex and coanda - vortex flow controllers // Paper Fift Cranfield fluidics conference, 1972. - P. B2-13 - B2-24.

Maltsev Y.I., Maltseva M.O., Suvorova E.Y. INCREASING BANDWIDTH SLOT DIFFUSER IN THE OUTLET VORTEX VALVE WITH AN AXIAL SUPPLY CHANNEL

A numerical experiment was planned for calculating the flow in a vortex valve with an axial supply channel and a slotted diffuser at the outlet using an orthogonal central compositional plan. The results of mathematical modeling of flow hydrodynamics in an open vortex valve with an axial supply channel and a slotted diffuser at the outlet are presented. The mathematical model is based on the Reynolds equations of motion for an incompressible fluid, the continuity equation and the SST equations - the turbulence model. The regression equation for the mass flow rate is obtained in the form of a second order polynomial. The numerical solution of the equations of three-dimensional turbulent flow made it

possible to establish the optimal geometric parameters of the inlet channel of the slot diffuser.

Key words: vortex valve, one-way outlet, slotted diffuser, geometric parameters, mathematical model of flow, Reynolds equation, SST - turbulence model, flow coefficient.

Мальцев Ярослав Иванович, к.т.н., доцент кафедры прикладной математики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск

Maltsev Yaroslav Ivanovich, Ph.D. Associate Professor of the Department of Applied Mathematics, State Educational Institution of Higher Education of the Lugansk People's Republic Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk

Мальцева Марина Олеговна, к.т.н., доцент кафедры прикладной математики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск

Maltseva Marina Olegovna, Ph.D. Associate Professor of the Department of Applied Mathematics, State Educational Institution of Higher Education of the Lugansk People's Republic Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk

Суворова Евгения Юрьевна, старший преподаватель кафедры информационных образовательных технологий и систем ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск

Suvorova Eugenia Yurievna, Senior Lecturer of the Department of Information Educational Technologies and Systems, State Educational Institution of Higher Education of the Lugansk People's Republic Lugansk State Pedagogical University, Lugansk

Рецензент: Коваленко Алим Алексеевич, кандидат технических наук, профессор кафедры прикладной математики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 30.06.2021 год

УДК 006:687

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Мокшина О.В., Иванова Е.И., Ключев А.С., Тасанг Э.Х.

PROSPECTS OF 3D-SCAN TO DETERMINE THE QUALITY OF SEWING GOODS

Mokshina O.V., Ivanova E.I., Klyuev A.S., Tasang E.H.

В статье проведен анализ методов контроля швейных изделий, а также рассмотрена возможность для применения методов трехмерного сканирования. Приведены примеры сканированных поверхностей. Введен точечный показатель качества, средне-интегральный общий показатель и средне-интегральный местный показатель качества.

Ключевые слова: качество, швейное изделие, 3D сканер, эталон, отклонение.

Введение. Проблема качества носит в современном мире универсальный характер. От того насколько успешно она решается, зависит многое в экономической и социальной жизни любой страны, практически любого потребителя. Качество швейных изделий зачастую определяется визуально при помощи органолептических методов.

Органолептический метод является наиболее распространенным, простым и доступным. Качество анализируется с помощью органов чувств человека и его ощущений, поэтому точность и достоверность значений показателей свойств изделия зависят от квалификации, практического опыта, способностей специалистов, оценивающих качество.

Основными средствами органолептического метода служат органы чувств (орган зрения и рецепторы осязания). Орган зрения - глаз - способен воспринимать зрительные ощущения формы (силуэта), композиции (характера членения деталей), цвета, состояние поверхности и целостность. Рецепторы осязания воспринимают различные тактильные ощущения: прикосновения, давления, удобства в статике и динамике, тепла или холода.

Органолептическим методом устанавливают качество посадки изделия на фигуре манекена и качество технологии изготовления, качество упаковки и маркировки, а также качество проектных разработок.

В швейной промышленности практически не применяются современные методы трехмерного сканирования, способные во много заменить субъективные органолептические.

Анализ последних исследований и публикаций. Оценка качества швейных изделий осуществляется в соответствии с [1].

Качество посадки изделия на фигуре или манекене определяется визуально. При этом изделие надевается на человека или манекен, застегивается на все пуговицы и завязывается пояс (если имеется). Оценивается соответствие изделия размерам и форме тела человека, моде, целостность композиции изделия, наличие конструктивных дефектов (горизонтальных складок, вертикальных складок, наклонных складок, угловых заломов и балансовых нарушений, а также удобство пользования мелкими деталями - карманы, пояса, клапаны, застежки и др., и удобство в статике и динамике).

Недостатки органолептических методов обусловлены их большой трудоемкостью, большим влиянием субъективизма, отсутствием реальных числовых показателей [2].

Во многих отраслях находит применение технология трехмерного сканирования [3]. Удобство этого метода подтверждено, например, при контроле камер сгорания реактивных двигателей [4] или в других сложных механических системах [5].

Несмотря на более низкие требования к точности швейных изделий данный метод до сих пор не получил должного распространения в связи с неразработанностью методики его применения.

Цель исследования – обосновать методику применения трехмерного сканирования при контроле качества швейных изделий.

Материалы и результаты исследований. 3D-сканер со структурированным светом представляет собой устройство для измерения трехмерной формы объекта с помощью прогностической системы световых моделей и камеры.

Проектирование узкой полосы света на поверхности трехмерной формы приводит к ее искажению, что и может быть использовано для точной геометрической реконструкции формы поверхности рис. 1 [6].

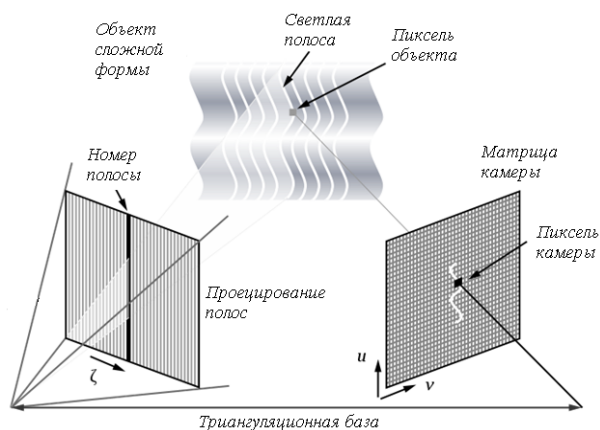


Рис. 1. Принцип трехмерного сканирования

Более быстрый и универсальный метод проекции моделей предполагает испускание множества полос сразу или испускание произвольных полос, это позволяет анализировать образцы со сложными кривизнами. Рассмотренная с различных точек зрения картина выглядит геометрически искаженной из-за формы поверхности объекта.

Несмотря на возможность других вариантов структурированной проекции света, модели параллельных полос используются наиболее широко. На рис. 1 показана геометрическая деформация одной полосой, которая проецируется на простую 3D-поверхность. Смещения полос позволяет точно определить 3D-координаты любой детали на поверхности объекта.

Основная часть 3D-принтеров пока достаточно дорогостояща, как и затратен процесс получения изображений. Однако, в последнее время появились технологии, позволяющие использовать сравнительно недорогие проекционные системы как трехмерные сканеры.

В качестве недорогой альтернативы в настоящее время предлагается два типа сканирования пространственных объектов. Первый использует лазерные ручки, веб-камеры и установленные сзади пластины со специально расположенными точками на каждом фасаде. Точки появляются за объектом и используются программным обеспечением как часть процесса сканирования.

Вторая система использует тот же тип камеры и проектор, который проецирует рисунок на поверхности объекта сканирования. Именно этот процесс, известный как сканирование в структурированном свете, позволяет с помощью специального программного обеспечения различить очертания поверхности с помощью шаблона.

Трехмерное сканирование уже сейчас используется в ряде процессов, таких как точность измерения формы управления производством (например, лопаток турбин), обратное проектирование (получение точных CAD данных из

существующих объектов), измерение объема (например, объем камеры сгорания в двигателях), классификация шлифовальных материалов и инструментов, измерение поверхности кожи для косметики и медицины, измерения на ткани и коже.

Опыт применения трехмерных сканеров при изучении верхней одежды, одетой на манекен, показывает возможность по крайней мере визуального контроля полученного изделия в компьютерной среде (рис. 2).

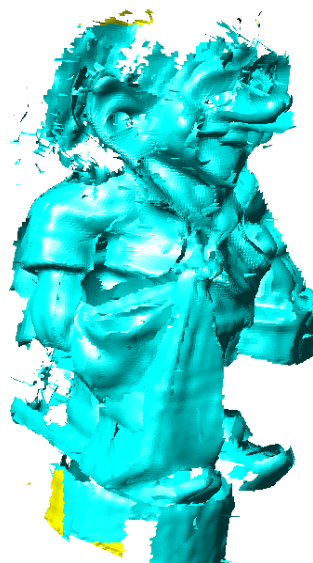


Рис. 2. Сканированная модель одежды на манекене

Обращаем внимание, что несмотря на визуально гладкую поверхность одежды, в реальности в формате stl она представляет собой набор точек с известными трехмерными координатами (x, y, z). Например, на рис. 3 показана плечевая зона одежды, подверженной сканированию.

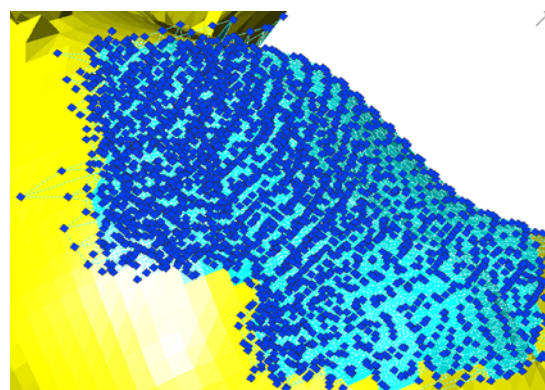


Рис. 3. Расположение контрольных точек на сканированном объекте

При условии, что в распоряжении контролера имеется эталонный образец сканированного объекта, выполненный при изучении изделия на

манекене с идеальной посадкой, для каждой точки можно найти отклонение изготовленного изделия от эталона.

$$D_i = \sqrt{(x_i - x_{ie})^2 + (y_i - y_{ie})^2 + (z_i - z_{ie})^2},$$

где (x_e, y_e, z_e) – координаты точки на эталоне.

Комплекс точек отклонений при изучении реального изделия может быть представлен графически (рис. 4).

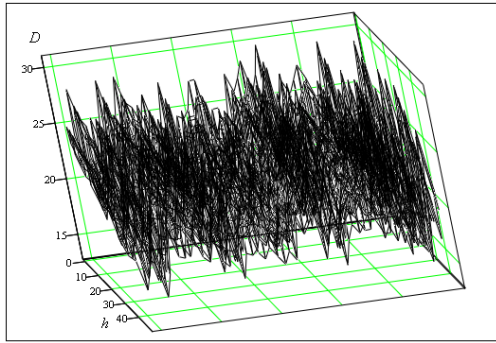


Рис. 4. Комплекс отклонений координат изделия от эталона

С полученными данными работать несколько затруднительно. Основное условие, которое можно отсюда извлечь, – непревышение максимальным значением отклонения его предельного значения, которое можно записать в виде:

$$D_{\max} \leq D_{\text{доп}}.$$

Для оценки качества посадки всего изделия желательно использовать интегральные показатели. Для этого желательно распределение отклонений в изделии представить как функцию от двух координат – высоты изделия и угла, с которого изделие наблюдается. Для функционального представления данной величины используем метод полиномиальной регрессии, в которой искомая функция представляется в виде:

$$D(h, \varphi) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot h^i \cdot \varphi^j.$$

Неизвестные коэффициенты регрессии a_{ij} определяются методом наименьших квадратов. В результате поверхность отклонений от эталона может быть представлена как показано на рис. 5.

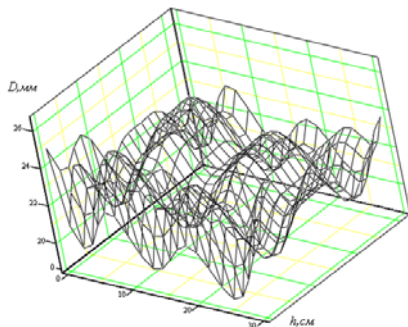


Рис. 5. Поверхность отклонений от эталона

в декартовых координатах

Для приближения поверхности отклонений к реальной картине удобнее изобразить ее в полярных координатах (рис. 6).

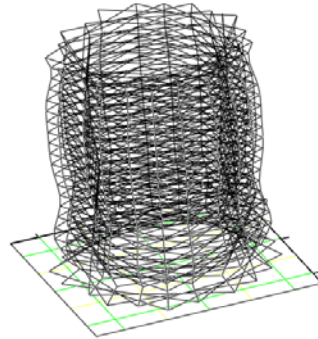


Рис. 6. Поверхность отклонений в цилиндрических координатах

В условиях наличия функции реальных отклонений можно, во-первых, реально оценить зоны наибольших дефектов, во-вторых, выявить интегральные показатели качества, такие как средне-интегральное отклонение:

$$S = \frac{1}{2\pi h_{\max}} \int_0^{2\pi} \int_0^{h_{\max}} D(x, \varphi) dx d\varphi.$$

В случае важности посадки одежды на отдельных участках могут быть введены местные средне-интегральные показатели отклонения:

$$S_m = \frac{1}{\alpha \cdot b} \int_{\beta}^{\beta+\alpha} \int_a^{a+b} D(x, \varphi) dx d\varphi,$$

где α – начало участка контроля по высоте; b – длина участка контроля по высоте; x – начало участка контроля по углу; φ – угол контроля.

Выводы. Изучение методов контроля качества швейных изделий демонстрирует, что субъективные органолептические методы контроля рационально заменять объективными методами трехмерного сканирования. Комплекс координат точек, получаемый при этом, позволяет определять местные и среднеинтегральные показатели качества.

Л и т е р а т у р а

- ГОСТ 4103-82 "Изделия швейные. Методы оценки качества". – Москва: Стандартинформ, 2007. – 21 с.
- Ryabchikov N., Mokshina O. Prediction of quality of sewing department under unsteady operating mode change // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2012. – No. 12, pp. 31-37.
- Frankowski G., Chen M., Huth T. Real-time 3D Shape Measurement with Digital Stripe Projection by Texas Instruments Micromirror Devices (DMD) Proc. Of SPIE. – Vol. 3958 (2000), pp. 90-106.
- Frankowski G., Chen M., Huth T. Optical Measurement of the 3D-Coordinates and the Combustion Chamber Volume of Engine Cylinder Heads Proc. Of "Fringe 2001", pp. 593-598.
- Song Zhang, Peisen Huang: High-resolution, Real-time 3-D Shape Measurement (PhD Dissertation, Stony Brook Univ., 2005).

6. Fofi David, T. Sliwa, Y. Voisin (January 2004). "A Comparative Survey on Invisible Structured Light". SPIE Electronic Imaging – Machine Vision Applications in Industrial Inspection XII. San Jose, USA, pp. 90-97.

References

1. GOST 4103-82 "Izdelija shvejnye. Metody ocenki kachestva". – Moskva: Standartinform, 2007. – 21 p.
2. Ryabchikov N., Mokshina O. Prediction of quality of sewing department under unsteady operating mode change // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2012. – No. 12, pp. 31-37.
3. Frankowski G., Chen M., Huth T. Real-time 3D Shape Measurement with Digital Stripe Projection by Texas Instruments Micromirror Devices (DMD) Proc. Of SPIE. – Vol. 3958 (2000), pp. 90-106.
4. Frankowski G., Chen M., Huth T. Optical Measurement of the 3D-Coordinates and the Combustion Chamber Volume of Engine Cylinder Heads Proc. Of "Fringe 2001", pp. 593-598.
5. Song Zhang, Peisen Huang: High-resolution, Real-time 3-D Shape Measurement (PhD Dissertation, Stony Brook Univ., 2005).
6. Fofi David, T. Sliwa, Y. Voisin (January 2004). "A Comparative Survey on Invisible Structured Light". SPIE Electronic Imaging – Machine Vision Applications in Industrial Inspection XII. San Jose, USA, pp. 90-97.

Mokshina O.V., Ivanova E.I., Klyuev A.S., Tasang E.H. PROSPECTS OF 3D-SCAN TO DETERMINE THE QUALITY OF SEWING GOODS

The analysis of methods for control of garments, as well as, the possibility for the application of three-dimensional scanning is held. The examples of the scanned surface are showed. Point quality score, average integrated overall and average integrated local quality scores are introduced.

Key words: quality, garments, 3D scanner, standard, deviation.

Мокшина Ольга Васильевна, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт»,

ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: eleandra1@mail.ru

Mokshina Olga, senior lecturer of the «Railway transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Иванова Елена Ивановна, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: eleandra1@mail.ru

Ivanova Elena, senior lecturer of the «Railway transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Клюев Александр Семенович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: aklyev1954@gmail.com

Klyuev Alexander, senior lecturer of the «Railway transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Тасанг Эрик Хельмутович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: tasang@mail.ua

Tasang Erik, senior lecturer of the «Railway transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 15.04.2021

УДК 621.833

ОЦЕНКА КРИТЕРИЕВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ТЯГОВОГО РЕДУКТОРА ТЕПЛОВОЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОФИЛЬНОГО УГЛА ИСХОДНОГО КОНТУРА

Муховатый А.А.

ESTIMATION OF PERFORMANCE CRITERIA OF GEARS OF A TRACTION GEARBOX OF A LOCOMOTIVE CIRCUIT DEPENDING ON THE PROFILE ANGLE OF THE INITIAL CIRCUIT

Mukhovaty A.A.

Разработана математическая модель определения значений критериев работоспособности зубчатой передачи на параллельных осях с различными углами профиля исходного контура, определены значения геометро-кинематических критериев и критериев, характеризующих прочность зубьев, потери в зацеплении, толщину масляного слоя между зубьями, износ и заедание рабочих поверхностей, произведен сравнительный анализ критериев работоспособности зубчатых передач тягового редуктора тепловоза с целью определения геометрических параметров исходного контура зубьев, обеспечивающего повышение значений этих критериев.

Ключевые слова: зубчатые колеса, исходный контур, тепловоз, критерии работоспособности, рейка.

Введение. Тяговый редуктор является важным элементом конструкции тепловоза, обеспечивающим передачу энергии от двигателя к ведущим колесам. Надежность работы тягового редуктора обеспечивает надежность работы фрикционной пары колесо-рельс. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на создание более надежных и долговечных зубчатых колес тягового редуктора. А эти исследования неразрывно связаны с оценкой критериев работоспособности эвольвентного зубчатого зацепления в зависимости от величины профильного угла исходного контура с последующим выбором его рационального значения.

Основными направлениями улучшения критериев работоспособности эвольвентных зубчатых передач, при прочих равных условиях, являются: использование угловой коррекции зубьев [1, 2] и применение исходных контуров с увеличенным углом профиля, а также использование несимметричных зубьев [3, 4].

Заслуживает внимания при совершенствовании зубчатых передач также применение для профилирования зубьев исходных контуров с неравноделенным шагом [5]. Исходные контуры с

увеличенным профильным углом успешно используются при профилировании зубьев колес трансмиссий самолетов и вертолетов [3, 5].

Однако для профилирования зубьев колес трансмиссий тепловозов эти исходные контуры не нашли применения из-за отсутствия необходимых исследований и рекомендаций. В конструкции тягового редуктора успешно используется угловая коррекция зубьев. Применение увеличенного профильного угла зубьев в сочетании с угловой коррекцией может существенно улучшить критерии работоспособности зубчатых колес тягового редуктора и других зубчатых трансмиссий тепловоза. Этому будут способствовать исследования по оценке критериев работоспособности зубчатых передач тягового редуктора тепловоза в зависимости от величины профильного угла зубьев в сочетании с угловой коррекцией зубьев.

Цель работы – разработать математическую модель определения критериев работоспособности передачи на параллельных осях с прямобочным исходным контуром, определить значения геометро-кинематических критериев и критериев, характеризующих прочность зубьев, потери в зацеплении, толщину масляного слоя между зубьями, износ и заедание рабочих поверхностей, произвести сравнительный анализ критериев работоспособности зубчатых передач тягового редуктора тепловоза с целью определения геометрических параметров исходного контура зубьев, обеспечивающего повышение значений этих критериев.

Основное содержание и результаты работы

1. Исходные контуры

На рис. 1 изображен прямобочный исходный контур.

В табл. 1 даны геометрические параметры наиболее распространенных исходных контуров с симметричными профилями, с равноделенным и неравноделенным шагом.

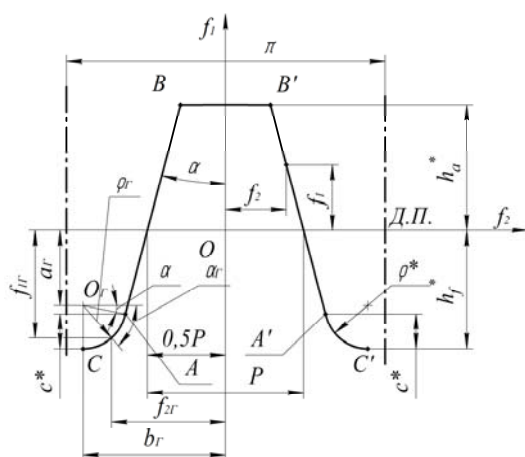


Рис. 1. Исходный контур (Д.П. – делительная прямая, модуль $m=1$, AB и $A'B'$ – прямые линии)

Таблица 1

Геометрические параметры исходных контуров (в долях модуля)

α	h_a^*	h_f^*	ρ^*	c^*
20^0	1	1,25	0,38	0,25
28^0	0,9	1,08438	0,34754	0,18438
27^0	1	1,12250	0,22450	0,12250
	1	1,21560	0,39513	0,21560
α	P^*	S_{a1}^*	S_{a2}^*	
20^0	1,5708	0,84886	0,84280	
28^0	1,57080	0,613722	0,6137	
27^0	1,72254	0,70349	–	
	1,41905	0,4000	–	

Примечания к табл. 1:

h_a^* – коэффициент высоты головки;

h_f^* – коэффициент высоты ножки;

ρ^* – радиус скругления основания профиля;

c^* – коэффициент радиального зазора;

P – расстояние между соседними профилями по делительной прямой;

S_{a1}^* , S_{a2}^* – расстояние между соседними профилями головки и ножки;

$\alpha = 20^0$ – угол исходного контура из [1];

$\alpha = 28^0$ – углы исходных контуров из [3];

$\alpha = 27^0$ – углы исходных контуров из [5] (с неравноделенным шагом); $\alpha = 27^0$ – в верхней строке параметры исходного контура зубьев шестерни, в нижней – зубьев колеса.

Как отмечается в [3] и [5], эти исходные контуры ($\alpha > 20^0$) обеспечивают высокую контактную и изгибную прочность зубьев, а также стойкость против заедания рабочих поверхностей. С увеличением профильного угла следует ожидать уменьшения потерь мощности в зацеплении и уменьшения износа зубьев. Однако при этом

уменьшается толщина вершин зубьев, возникает опасность их заострения, а также увеличивается радиальная сила в зацеплении.

Запишем уравнение прямой AB в системе координат f_1Of_2 (рис. 1) в виде:

$$f_2 = f_1 \tan \alpha - 0,5P, \quad (1)$$

где α – угол профиля исходного контура, f_1 изменяется в пределах $-h_f^* \leq f_1 \leq h_a^*$.

Первая производная функции f_2 по f_1 будет равна:

$$f_2' = \tan \alpha. \quad (2)$$

2. Критерии работоспособности зубчатой передачи

2.1. Геометро-кинематические критерии работоспособности

С использованием результатов работы [7] (1) и (2) получаем значения:

– скорости скольжения (при угловой скорости шестерни $\omega_1 = 1 \text{ c}^{-1}$):

$$V_{12} = \frac{f_1(u+1)}{u \sin \alpha}; \quad (3)$$

– скорости качения зубьев шестерни и колеса при ($\omega_1 = 1 \text{ c}^{-1}$):

$$V_1 = R_1 \sin \alpha + \frac{f_1}{\sin \alpha}, \quad (4)$$

$$V_2 = \left(R_{21} \sin \alpha - \frac{f_1}{\sin \alpha} \right) \frac{1}{u};$$

– суммарной скорости качения при ($\omega_1 = 1 \text{ c}^{-1}$):

$$V_{\Sigma} = 2R_1 \sin \alpha + \frac{f_1}{\sin \alpha} \left(1 - \frac{1}{u} \right); \quad (5)$$

– приведенной кривизны рабочих поверхностей:

$$\chi = \frac{(R_1 + R_2)}{\sin \alpha} = \frac{1}{\left(R_1 + \frac{f_1}{\sin^2 \alpha} \right) \left(R_2 + \frac{f_1}{\sin^2 \alpha} \right)}; \quad (6)$$

– удельные скольжения зубьев шестерни и колеса:

$$\eta_1 = -\frac{(u+1)}{u} \cdot \frac{f_1}{\left(R_1 + \frac{f_1}{\sin^2 \alpha} \right) \sin^2 \alpha}, \quad (7)$$

$$\eta_2 = -\frac{(u+1)}{u} \cdot \frac{f_1}{\left(R_2 + \frac{f_1}{\sin^2 \alpha} \right) \sin^2 \alpha}.$$

В равенствах (3)-(7) введены обозначения:

R_1, R_2 – радиусы начальных цилиндров шестерни и колеса;

u – передаточное число передачи.

Из равенств (3)-(7) следует, что с увеличением профильного угла скорость скольжения вне полюса уменьшается, скорости качения увеличиваются, приведенная кривизна и удельные скольжения уменьшаются в пределах всего поля зацепления. Очевидно, что это благоприятно сказывается на контактной прочности зубьев, условиях смазки и износа рабочих поверхностей.

2.2. Комплексные критерии работоспособности

Сравнительную оценку комплексных критериев работоспособности производят по значениям относительных величин. Критерии равны отношению значений при заданном профильном угле исходного к значению критерия при $\alpha_s = 20^\circ$, используемых в конструкции тягового редуктора зубчатых передач.

Относительные значения комплексных критериев можно представить в виде, используя данные работы [7]:

– критерий потерь мощности в зацеплении:

$$\overline{\Delta P} = \overline{q} \cdot \overline{f} \cdot \overline{V}_{12}; \quad (8)$$

– критерий толщины масляного слоя:

$$\overline{h}_{mc} = \frac{\overline{V}_\Sigma^{0,75}}{\chi^{0,4} \cdot \overline{q}^{0,15}}; \quad (9)$$

– критерий заедания:

$$\overline{K}_z = \overline{q}^{0,75} \cdot \overline{f} \cdot \left| \frac{\sqrt{\overline{V}_{1z}} - \sqrt{\overline{V}_{2z}}}{\sqrt{\overline{V}_{1c}} - \sqrt{\overline{V}_{2c}}} \right| \chi^{0,25}; \quad (10)$$

– критерий удельных работ сил трения:

$$d\overline{A}_i = \overline{f} \cdot \overline{\eta}_i \cdot \overline{q}; \quad (11)$$

– критерий износа рабочих поверхностей зубьев:

$$\overline{h}_{wi} = \overline{\eta}_i \cdot \overline{f}^{0,75} \cdot \overline{q}; \quad (12)$$

– критерий контактной прочности:

$$\overline{\theta} = \frac{1}{\chi \cdot \overline{q}}; \quad (13)$$

– критерий задиростойкости [1]:

$$\overline{K}_s = \frac{\overline{V}_{12}}{\overline{V}_\Sigma}. \quad (14)$$

В равенствах (8)-(14) величина с черточкой сверху показывает, во сколько раз значение критерия зубчатой передачи с увеличенным углом профиля зубьев больше или меньше значения аналогичного критерия при $\alpha_s = 20^\circ$. Значок "с" относится к передачам с профильным углом больше $\alpha_s = 20^\circ$, а со значком "э" – к передачам с $\alpha_s = 20^\circ$ ($i=1$ – для зубьев шестерни, $i=2$ – для зубьев колеса).

Значения величин с черточкой сверху определяются, как отношения значений соответствующих величин (3)-(7) при $\alpha = \alpha_c$ к значениям этих же величин при $\alpha = \alpha_s = 20^\circ$, t_y – параметр фрикционной усталости (будем принимать $t_y = 2$; см. [8]); $\overline{q} = \frac{\cos \alpha_c}{\cos \alpha_s}$ – относительная величина единичных окружных сил, действующих на зуб передачи; $\overline{f} = \frac{f_c}{f_s}$ – отношение значения коэффициента трения скольжения в зацеплении при $\alpha = \alpha_c$ к значению коэффициента трения скольжения при $\alpha = \alpha_s = 20^\circ$.

Значение

$$\overline{f} = \overline{q}^{0,1} \left[\frac{10 + \lg(E_{np}^{-1} \cdot HB \cdot x_i R_w)}{10 + \lg(E_{np}^{-1} \cdot HB \cdot x_s R_a)} \right] \chi^{0,25} \overline{V}_\Sigma^{-0,1} \overline{V}_{12}^{-0,35}, \quad (15)$$

где E_{np} – приведенный модуль упругости материалов зацепляющихся колес;

HB – твердость менее твердого из контактирующих зубьев;

R_a – шероховатость более твердого из контактирующих зубьев.

Оценивать изгибную прочность зубьев можно величиной коэффициента прочности [3]

$$Y_F = \frac{66,1}{\alpha} (h_a^*)^{0,5} + \frac{1}{z} [15,3 + (0,63\alpha - 36)x], \quad (16)$$

где α – угол профиля исходного контура в градусах;

z – число зубьев (z_1 – число зубьев шестерни, z_2 – число зубьев колеса);

x – коэффициент смещения исходного контура.

3. Геометрические параметры зубчатых колес и зубьев

Формулы для определения основных размеров зацепления цилиндрических колес имеют вид [1]:

– делительное межосевое расстояние

$$a = 0,5m(z_1 + z_2); \quad (17)$$

– межосевое расстояние (предполагается заданным)

$$a_w = 0,5(d_{w1} + d_{w2}); \quad (18)$$

– коэффициент воспринимаемого смещения

$$y = \frac{(a_w - a)}{m}; \quad (19)$$

– коэффициент уравнивающего смещения

$$\Delta y = x_1 + x_2 - y$$

– коэффициенты смещения шестерни x_1 и колеса x_2

– делительные диаметры

$$\begin{aligned} d_1 &= mz_1, \\ d_2 &= mz_2; \end{aligned} \quad (20)$$

– начальные диаметры

$$\begin{aligned} d_{w1} &= \frac{2a_w}{u+1}, \\ d_{w2} &= u \cdot d_{w1}; \end{aligned} \quad (21)$$

– диаметры вершин зубьев

$$\begin{aligned} d_{a1} &= d_1 + 2(h_a^* + x_1 - \Delta y)m, \\ d_{a2} &= d_2 + 2(h_a^* + x_2 - \Delta y)m; \end{aligned} \quad (22)$$

– диаметры впадин

$$\begin{aligned} d_{f1} &= d_1 - 2(h_f^* - x_1)m, \\ d_{f2} &= d_2 - 2(h_f^* - x_2)m; \end{aligned} \quad (23)$$

– угол зацепления

$$\alpha_w = \arccos \frac{a \cos \alpha}{a_w}. \quad (24)$$

Важной величиной зуба является толщина его вершины. Ее можно определить по формуле:

$$S_a = 2[(f_{1a} + x + 0,5d) \sin \varphi_a - (f_{1a} + x) \operatorname{ctg} \alpha \cos \varphi_a], \quad (25)$$

где x – коэффициент смещения исходного контура;
 d – делительный диаметр;

$$f_{1a} + x = \left[-0,5d \sin \alpha + \sqrt{(0,5d_a)^2 - (0,5d \cos \alpha)^2} \right] \sin \alpha; \quad (26)$$

$$\varphi_a = \frac{2(f_{1a} + x) - 0,5P - x \operatorname{tg} \alpha}{0,5d}; \quad (27)$$

d_a – диаметр вершин зубьев.

При определении толщины зубьев шестерни и колеса в (25)-(27) следует подставлять соответственно параметры шестерни и колеса. При

определении коэффициента перекрытия в (26) следует подставить вместо α значение α_w из (24), а вместо d – значение d_w и определить $f_{1a} + x$ для зубьев шестерни и колеса.

Тогда коэффициент перекрытия будет равен:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{2[(f_{1au} + x_1) + (f_{1ak} + x_2)]}{m \cdot \pi \sin 2\alpha}, \quad (28)$$

где $f_{1au} + x_1$ – определяется из (26) при $\alpha = \alpha_w$, $d = d_{w1}$ и $d_a = d_{a1}$;

$f_{1ak} + x_2$ – определяется из (26) при $\alpha = \alpha_w$, $d = d_{w2}$ и $d_a = d_{a2}$.

4. Сравнительный анализ значений критериев работоспособности зубчатых передач тягового редуктора тепловоза

Рассмотрим зубчатую передачу тягового редуктора тепловоза с параметрами:

– число зубьев шестерни – $z_1 = 20$;

– число зубьев колеса – $z_2 = 73$;

– делительное межосевое расстояние – $a = 465$ мм;

– межосевое расстояние – $a_w = 468,8$ мм;

– модуль – $m = 10$ мм;

– коэффициенты смещения –

$$x_1 = 0,3966, x_2 = -0,0005;$$

$$E_{np} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ Н / мм}^2, \text{ HB} = 55 \text{ Н / мм}^2, R_a = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ мм}.$$

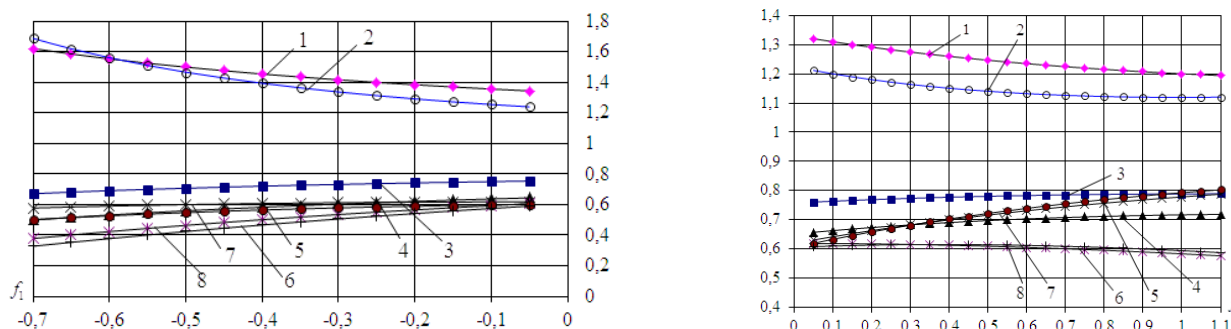
Геометрические параметры зубчатых колес при использовании исходных контуров табл. 1 представлены в табл. 2. При определении геометрических параметров использованы равенства (17)-(28). Значения относительных комплексных критериев работоспособности представлены на рис. 2-3.

Таблица 2

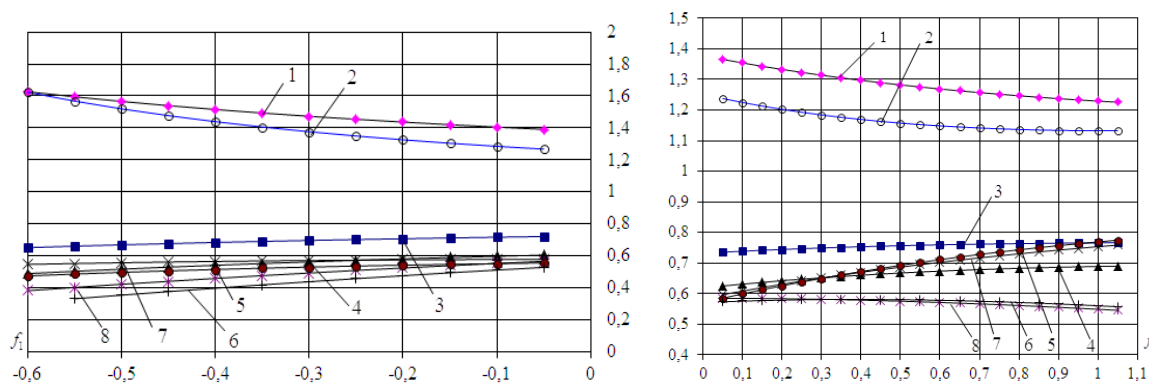
Геометрические параметры зубчатых колес (линейные размеры в мм)

Параметр	Номер формулы	Результат для исходного контура		
		$\alpha = 20^0$	$\alpha = 27^0$	$\alpha = 28^0$
Коэффициент воспринимаемого смещения	(15)	0,38	0,38	0,38
Коэффициент уравнивающего смещения	(14)	0,0161	0,0161	0,0161
Делительный диаметр, d_1, d_2	(20)	200	200	200
		730	730	730
Диаметр вершин зубьев d_{a1}, d_{a2}	(22)	227,610	227,610	227,610
		749,668	749,668	749,668
Начальные диаметры d_{w1}, d_{w2}	(21)	201,6341	201,6341	201,6341
		735,96559	735,9656	735,9656
Угол зацепления	(24)	21,23928 ⁰	27,89773 ⁰	28,86135 ⁰
Параметры вершин зубьев: $f_{1a} + x_1, f_{1a} + x_2$	(26)	10,25683	11,52989	10,91808
		9,01404	9,38102	8,49225
Угол $\varphi_{a1}, \varphi_{a2}$	(27)	12,97280	10,25029	9,39353
		3,17349	2,5296	1,98556
Толщина вершин зубьев S_{a1}, S_{a2}	(25)	5,4759	4,8888	4,3533
		8,0935	3,7782	6,0749
Величины $f_{1au} + x_1$ $f_{1ak} + x_2$	(26)	10,0239	11,0539	10,3973
		6,4798	6,6410	5,7076

Параметр	Номер формулы	Результат для исходного контура		
		$\alpha = 20^0$	$\alpha = 27^0$	$\alpha = 28^0$
Коэффициент перекрытия	(28)	1,557	1,363	1,214

Рис. 2. Графики изменения комплексных критериев по полю зацепления зубчатой передачи при $\alpha = 27^0$:

$$1 - \overline{h_{mc}}; 2 - \overline{\theta}; 3 - \overline{\Delta P}; 4 - \overline{K_s}; 5 - \overline{h_{u1}}; 6 - \overline{h_{u2}}; 7 - \overline{dA_1}; 8 - \overline{dA_2}$$

Рис. 3. Графики изменения комплексных критериев по полю зацепления зубчатой передачи при $\alpha = 28^0$:

$$1 - \overline{h_{mc}}; 2 - \overline{\theta}; 3 - \overline{\Delta P}; 4 - \overline{K_s}; 5 - \overline{h_{u1}}; 6 - \overline{h_{u2}}; 7 - \overline{dA_1}; 8 - \overline{dA_2}$$

Выводы. 1. Разработана математическая модель зубчатой передачи на параллельных осях с использованием геометрических параметров прямобочного исходного контура с определением геометро-кинематических критериев.

2. Разработаны рекомендации по упрощенной оценке изгибной прочности у основания эвольвентных зубьев.

3. Получены геометрические параметры для передач с прямобочным исходным контуром при различных углах профиля.

3. Установлено, что применение исходных контуров с увеличенным углом профиля позволяет в среднем по полю зацепления: снизить потери мощности в зацеплении до 20%; увеличить толщину масляного слоя между рабочими поверхностями зубьев в 1,3...1,6 раза; уменьшить критерий заедания в 1,25...1,6 раза; уменьшить удельную работу сил трения в зацеплении в 1,42...1,7 раза; уменьшить износ зубьев в 1,25...1,7 раза; увеличить критерий контактной прочности зубьев в 1,15...1,7 раза.

Л и т е р а т у р а

1. Кудрявцев В.Н. Детали машин. – Л.: Машиностроение, 1980. – 464 с.
2. Кудрявцев В.Н., Державец Ю.А., Глухарев Е.Г. Конструкции и расчет зубчатых редукторов. – Л.: Машиностроение, 1971. – 328 с.
3. Авиационные зубчатые передачи и редукторы: Справочник / Под ред. Э.Б. Вулгакова. – М.: Машиностроение, 1981. – 374 с.
4. Носко П.Л., Шишов В.П., Муховатый А.А. Использование исходных контуров с неравноделенным шагом для создания высоконагруженных эвольвентных зубчатых передач // Вісник НТУ «ХП», – Харків: НТУ «ХП», 2012. – № 36. – С. 94-99.
5. Дорофеев О.Л., Арнаутов К.Б., Дорофеев А.В. Назначение параметров исходного контура эвольвентных зубчатых колес с несимметричными зубьями // Вісник нац. техн. ун-ту «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2011. – № 29. – С. 53-60.
6. Ананьев В.М., Дорофеев В.Л., Капелевич А.Л. Новые подходы к проектированию зубчатых передач авиационных редукторов // Вісник нац.техн.ун-ту «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2009. – № 20. – С. 19-29.

7. Шишов В.П., Панкратов Д.А., Муховатый А.А. Критерии оценки работоспособности передач зацеплением // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2001. – № 12. – С. 33-40.

8. Трение, изнашивание, смазка. Справочник в 2-х книгах / Под редакцией И.В. Крагельского и В.В. Алисына. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с., 1979. – 358 с.

References

1. Kudrjavcev V.N. Detali mashin. – L.: Mashinostroyeniye, 1980. – 464 p.

2. Kudrjavcev V.N., Derzhavets Ju.A., Gluharev E.G. Konstrukcii i raschet zubchatykh reduktorov. – L.: Mashinostroyeniye, 1971. – 328 p.

3. Aviacionnye zubchatye peredachi i reduktory: Spravochnik / Pod red. Je.B. Vulgakova. – M.: Mashinostroyeniye, 1981. – 374 p.

4. Nosko P.L., Shishov V.P., Muhovatyj A.A. Ispol'zovanie ishodnykh konturov s neravnomernym shagom dlja sozdaniya vysokonagruzhennykh jevol'ventnykh zubchatykh peredach // Visnik NTU «HPI». – Harkiv: NTU «HPI», 2012. – № 36. – P. 94-99.

5. Dorofeev O.L., Arnaudov K.B., Dorofeev A.V. Naznachenie parametrov ishodnogo kontura jevol'ventnykh zubchatykh koles s nesimmetrichnymi zub'jami // Visnik nac. tehn. un-tu «HPI». – Harkiv: NTU«HPI», 2011. – № 29. – P. 53-60.

6. Anan'ev V.M., Dorofeev V.L., Kapelevich A.L. Novye podhody k proektirovaniyu zubchatykh peredach aviacionnykh reduktorov // Visnik nac. tehn. un-tu «HPI». – Harkiv: NTU«HPI», 2009. – № 20. – P. 19-29.

7. Shishov V.P., Pankratov D.A., Muhovatyj A.A. Kriterii ocenki rabotosposobnosti peredach zacepleniem // Visnik NTU «HPI». – Harkiv: NTU «HPI», 2001. – № 12. – P. 33-40.

8. Trenie, iznashivanie, smazka. Spravochnik v 2-h knigah / Pod redakciej I.V. Kragel'skogo i V.V. Alisina. – M.: Mashinostroyeniye, 1978. – 400 p., 1979. – 358 p.

Mukhovatyj A.A.

ESTIMATION OF PERFORMANCE CRITERIA OF GEARS OF A TRACTION GEARBOX OF A LOCOMOTIVE CIRCUIT DEPENDING ON THE PROFILE ANGLE OF THE INITIAL CIRCUIT

A mathematical model has been developed for determining the values of the criteria for the performance of a gear transmission on parallel axes with different angles of the profile of the initial contour, the values of geo-metro-kinematic criteria and criteria that characterize the strength of the teeth, loss in engagement, the thickness of the oil layer between the teeth, wear and jamming of working surfaces, a comparative analysis of the performance criteria of the gears of the traction reducer of a diesel locomotive was carried out in order to determine the geometric parameters of the initial contour of the teeth, providing an increase in the values of these criteria.

Key words: gear wheels, initial contour, diesel locomotive, performance criteria, rack.

Муховатый Александр Анатольевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Машиноведение» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: mukhovatyj@mail.ru

Muhovatyj Alexander, Candidate of technical sciences, Associate professor, Associate Professor at the Department of Machine Science Engineering, State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортные технологии» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 05.04.2021

УДК 656.07

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

Нечаев Г.И., Афанасьевский Ю.Н., Ковтун Н.В.

METHODOLOGY FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT CORRIDORS

Nechaev G.I., Afanasevsky Y.N., Kovtun N.V.

Рассмотрены транспортные пути международных транспортных коридоров (МТК) Луганской Народной Республики. Проанализирована характеристика транспортных коридоров. Предложены критерии и разработана методика оценки эффективности транспортных коридоров.

Ключевые слова: транспортный коридор, транспортное средство, перевозочный процесс, транспортные услуги, транзит, способы нормализации.

Введение. Международные транспортные коридоры (МТК) являются частью внешнего транспортного рынка. С помощью международных транспортных коридоров регионы получают возможность участия в международных транспортных связях и, следовательно, в международном бизнесе путем экспорта и импорта транспортных услуг. Эффект от использования МТК для укрепления связей с границей структурно делится на две части: народно-хозяйственный эффект и эффект, получаемый собственными владельцами подвижного состава и инфраструктуры МТК. Основным требованием при обосновании эффективности развития международных перевозок является соблюдение народно-хозяйственных интересов, то есть использование МТК должно быть эффективным для народного хозяйства [6, 7].

Материалы и результаты исследования. Для развития городов и районов Юго-Востока Украины особенности функционирования МТК Европа-Азия, других транспортно-коммуникационных и логистических структурных образований в Республике, имеют решающее значение, для чего необходимо проанализировать динамику их создания и использования. Понятие «транспортный коридор», по определению КВТ ЕЭК ООН, обозначается емкой формулировкой: «Транспортный коридор» – это часть национальной или международной транспортной системы, которая обеспечивает значительные международные грузовые и пассажирские перевозки между отдельными географическими районами, включает в себя подвижной состав и стационарные устройства

всех видов транспорта, работающих на данном направлении, а также совокупность технологических, организационно-правовых условий осуществления этих перевозок».

В то же время важно дополнительно подчеркнуть, что критерием выбора транспортных коммуникаций для включения железнодорожной или автомобильной магистралей в состав МТК являются:

- совпадение их с согласованными международным сообществом интегрированными направлениями международных транспортных связей;
- максимальное использование существующих хорошо технически оснащенных транспортных коммуникаций, имеющих значительные резервы провозной способности;
- конкурентоспособность цены перевозки на всем маршруте груза; приемлемые сроки следования грузов от производителя до потребителя продукции в сравнении с конкурентными маршрутами; надлежащее качество перевозок – безопасность, своевременность доставки, сохранность грузов, полнота информации о состоянии груза и его местоположении в любой момент времени;
- обеспечение интермодальных перевозок на основе логистических принципов и современной информационной базы, в том числе с использованием оптико-волоконных линий связи и спутниковых систем.

Интенсивность использования МТК зависит от особенностей функционирования рынков, которые он обслуживает, т. е. рынка как сферы экономических связей, возникающих между субъектами рыночных отношений в процессе изготовления и реализации продукции, выполнения работ и оказания услуг путем согласования цены, что регулируется с участием государства.

Отличая особенности рынка транспортных услуг, следует выделить наличие особых субъектов. Среди них, прежде всего, потребители услуг: пассажиры, собственники багажа, собственники грузов, перевозчики грузов,

экспедиторы, в том числе операторы-логисты, оптимизирующие процесс перевозки грузов, багажа и пассажиров.

Особая роль среди участников рынка транспортных услуг отводится органам государственной исполнительной власти и органам местного самоуправления, обеспечивающие функции государственного регулирования и контроля над участниками рынка транспортных услуг. При этом к участникам рынка транспортных услуг необходимо относить субъектов деятельности, оказывающих дополнительные транспортные услуги, в том числе – сервисное обслуживание транспортных средств, их охрану, складирование грузов и багажа, погрузку, комфортное пребывание пассажиров в пределах объектов транспортно-коммуникационной сферы.

Безусловно, все участники рынка транспортных услуг вступают во взаимоотношения определенных групп на основании существующей правовой, законодательной базы. Для большей полноты и эффективности нормативного регулирования всего комплекса услуг государство призвано обеспечивать определенный перечень мер правового регулирования между субъектами рынка, в том числе средства хозяйственно-правового регулирования, среди которых – хозяйственно-производственные и внутрихозяйственные отношения.

Рынок транспортных услуг любого города или района характеризуется наличием основных видов железнодорожного и автомобильного транспорта, е взаимодействующих за счет разветвленной дорожно-транспортной инфраструктуры.

Специалисты, исследующие вопросы развития и оптимизации рынка транспортных услуг в сфере автомобильного транспорта, распределяют их по видам предоставляемых услуг, в том числе:

- перевозка грузов;
- погрузочно-разгрузочные услуги, в том числе разнообразные складские операции;
- услуги, касающиеся сохранности грузов;

- услуги по подготовке грузов к перевозке;
- предоставление транспортных средств в аренду;

• транспортно-экспедиционные услуги и другие услуги, которые оказываются по дополнительному перечню, в зависимости от возможностей субъектов, которые их предоставляют.

Важно подчеркнуть, что транспортные услуги подразделяются на: основные услуги (перевозка и транспортно-экспедиционная деятельность); сопутствующие услуги (сохранность, складирование, пакетирование, взвешивание; охрана; информационное сопровождение транспортировок и др.).

Следует отметить и то, что ограничение перечня участников транспортных услуг формируются прямыми участниками процесса – производителями (продавцами услуг) и потребителями (покупателями) не отражает всего разнообразия связей, возникающих в условиях современных рыночных отношений на транспортном и региональном пространствах [1].

Состояние рынка транспортных услуг, особенно их качество, влияет на характеристики транспортного коридора (МТК). Понятия «международный транспортный коридор», «транспортный коридор», «коридор» имеют вполне конкретный смысл. В частности, например, закон Украины «Об автомобильных дорогах» указывает, что термин «коридор» обозначает совокупность всех видов транспорта, согласованно функционирующих в определенном направлении и участвующих в перевозке конкретного груза.

В целях систематизации знаний и практического опыта, накопленного в Луганской Народной Республике и за рубежом в вопросах оптимизации функционирования транспортных коридоров, разработаны методологические основы создания и функционирования транспортных коридоров в условиях постсоветского пространства (табл. 1).

Таблица 1

Методологические основы создания и функционирования транспортных коридоров

Условия создания	⇒	Наличие: территории в пределах одной или нескольких стран; Сформированная и оптимально взаимодействующая внутренняя транспортно-коммуникационная, логистическая система
Цель создания	⇒	Улучшение качества, сокращение сроков перевозки грузов, багажа и пассажиров в пределах определенных территорий
Национальные особенности функционирования	⇒	Наличие одного или нескольких конкретных маршрутов движения грузовых и пассажирских транспортных средств
Главные задачи	⇒	Оптимизация скорости движения транспортных средств; Надежность доставки грузов, багажа, пассажиров; Безопасность движения и хранения; Экологическая безопасность; Упрощенное пересечение границы; Комфортные условия; Наличие стандартных качественных транспортных услуг

Продолжение табл. 1

Обеспечение стационарных требований: – интермодальность; – замена транспортных средств; – ускорение транспортировки грузов, багажа и пассажиров	⇒	Использование на маршрутах различных видов средств; Наличие технических возможностей для изменения способов доставки грузов; Использование функций интермодальной обработки грузов
Наличие современной транспортной инфраструктуры на всем протяжении следования транспортных средств	⇒	Действие субъектов хозяйственно – управленческой, коммерческой деятельности; Сеть заправочных, газонаполняющих станций; Гостиничные комплексы; Предприятия гостиничного питания; Информационная сеть, спутниковая связь, Internet. Транспортно-логистические терминалы, зоны сервисного обслуживания
Нормативно-правовое обеспечение	⇒	Использование национальной законодательной базы и законодательных актов, стран СНГ, а также нормативно-правового обеспечения, разработанного еврорегионом «Донбасс»

В рамках изыскательской работы нами была определена задача: выработать основы теоретических подходов к оценке качества функционирования международных транспортных коридоров в условиях приграничных территорий. При этом предполагается, что результаты научной изыскательской деятельности в данной сфере будут использованы в процессе развития МТК Европа-Азия, завершающий участок которого пролегает через территорию Луганской Народной Республики (ЛНР).

Проблема выработки теоретических подходов к оценке результатов функционирования транспортных коридоров предельно актуальна. Ее решение будет, на наш взгляд, позитивно влиять на дальнейшее развитие транспортного комплекса республики ЛНР, каждого ее региона, способствующего интеграции нашей страны в мировую и евразийскую транспортную систему. В свою очередь данный процесс требует совершенствования управления всеми видами транспорта, повышения уровня оценки состояния конкретной транспортной системы, ее полноты и структурной достаточности.

В современных условиях транспортная система, характеризуясь техническим уровнем, масштабами, организационными формами и качеством обслуживания международных грузопассажирских перевозок, все более адаптируется к новым требованиям современного транспортного рынка. При этом очевидно, что в системе транспортных коридоров на первый план выступает фактор качества транспортного обслуживания, в то время как затраты становятся в ряд второстепенных и менее важных [2].

В результате исследований установлено, что для определения качества функционирования и пригодности МТК, обеспечения максимально короткого времени доставки грузов и багажа в международном сообщении повсеместно возникает

необходимость в качественной оценке технико-экономических возможностей как отдельно взятой его части, так и всей инфраструктуры транспортного коридора.

Поэтому поиск единого комплексного показателя, с помощью которого возможно оценивать качество функционирования МТК, является актуальной научно-технической проблемой.

Практика свидетельствует, что качество функционирования транспортных коридоров (ТК) оценивается с помощью многих критериев. В частности, используют такие показатели:

- надежность перевозок;
- пропускная способность транспортного коридора;
- доступная стоимость перевозок (себестоимость, рентабельность, прибыль) [3].

Осуществленный нами сравнительный анализ состояния сети МТК страны, особенно на приграничных территориях, свидетельствует, что транспортная система по количественным показателям (в частности, пропускная способность) в целом соответствует требованиям привлечения транзита на территории ЛНР и приграничным территориям, в то время как по качественным характеристикам (скорость, сохранность грузов, информационное обеспечение, состояние пограничной инфраструктуры, комфортность и сервис на автодорогах, процедура пересечения границы) не достигает уровня европейских стандартов.

Очевидно, что оценку создания сети ТК можно осуществлять в соответствии с критерием и общественной, отраслевой, бюджетной эффективности или по целевым проектам. Однако ряд специфических проблем, тесно связанных с формированием системы МТК, в частности, поиск комплексного показателя как наиболее важного фактора, по которому можно оценивать качество

функционирования транспортного коридора в целом, требует более четкого определения и совершенствования.

Установлено, что при изучении проблемы оценки качества МТК необходимо формулировать многокритерийное задание. Это обусловлено современным уровнем развития транспортно-коммуникационного комплекса, когда требуется принятие оптимальных решений.

Наиболее простым и часто употребляемым считается критериальный подход для определения комплексного показателя, суть которого состоит в том, что каждый критерий можно оценивать конкретно существующим числом, а сравнение критериев сводится к сравнению соответствующих им действующих чисел.

Современный рынок транспортных услуг требует оценивать качество функционирования ТК не по одному, а по нескольким критериям, которые отличаются между собой по своей сущности. Считаем, что оптимальное решение оценивается m критериями: $f_i(x)$, $i = 1, m$. Если все частичные критерии $f_i(x)$ действуют в одном направлении и отражают позитивные или лишь негативные качества главного показателя, то с целью выбора оптимального решения они часто переходят к нормализованному мультикритерию $g_i(x)$, $i = 1, m$. путем введения безразмерных величин или приведения к одной размерности [5].

Формально способы нормализации выражаются таким образом:

а) сведение к безразмерным величинам:

$$g_i(x) = \frac{f_i(x)}{p(f_i(x))}, \quad (1)$$

где $p[f_i(x)]$ – некоторая функция; сведение к одной размерности:

$$g_i(x) = \frac{f_i(x)}{a(i)}, \quad (2)$$

где $a(i)$ – некоторая весовая;

б) смена направления:

$$g_i(x) = -f_i(x) \text{ или } g_i(x) = \frac{1}{f_i(x)}; \quad (3)$$

в) природный:

$$g_i(x) = \frac{f_i(x) - f_{\min}(x)}{f_{\max}(x) - f_{\min}(x)}, \quad (4)$$

где $f_{\min}(x) = \min_{i \in 1, m} f_i(x)$;

г) сравнительный:

$$g_i(x) = f_i(x) = \frac{f_i(x)}{\max_{x \in X} f_i(x)}; \quad (5)$$

д) частичный (по «удельному весу»):

$$g_i(x) = \frac{f_i(x)}{\sum_{i=1}^m f_i(x)}. \quad (6)$$

Допустим, что множество $\bar{x}$, которое принимает наибольшее значение при всех m критериях:

$$f_i(\bar{x}) \geq f_i(x), \quad i = \overline{1, m}, \text{ для всех } x \in X. \quad (7)$$

Тогда решение $\bar{x}$ будет наилучшим, и проблемы выбора в такой ситуации не существует. На практике при определении оценки качества функционирования такие решения маловероятны. Более реальной может быть ситуация, когда разные показатели достигают своих оптимумов при разных решениях. Рациональный выбор оптимального решения с заданными свойствами относится к такому случаю, когда заранее могут быть указаны желаемые значения частичных критериев (или их пределы), и тогда задача состоит в том, чтобы найти наиболее оптимальное решение, которое удовлетворяет этим требованиям, или определить, что такого решения во множестве X не существует.

Желаемые значения критериев $f_i(x)$, $i = 1, m$ задают точно или в виде верхних и нижних границ. Значение $f_i(x)$, $i = 1, m$ называют уровнями требований, а точку их пересечения x^* в m – измеренному в пространстве критериев – целью (опорной точкой или идеальной точкой). В связи с тем что уровни требований задаются без точного знания структуры множества x , целевая точка может лежать как внутри, так и за пределами множества X (достигаемая или недостигаемая цель). Задача оптимизации состоит в построении последовательных решений x^k , $k = 0, 1, \dots$, результат которых должен приближаться к величине x^* . Для этого вводится числовая мера близости, которая выражается так называемой функцией расстояния между альтернативной X и целью x^* , то есть между векторами

$$f_i(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)) \text{ и } \bar{f} = (\bar{f}_1, \bar{f}_2, \dots, \bar{f}_n).$$

Нередко в научных работах используется такая функция расстояния:

$$d_k(x) = \bar{d}_k(f(x), \bar{f}) = \left[\sum_{i=1}^m \omega_i |f_i(x) - \bar{f}_i|^{1/k} \right]^{1/k}, \quad (8)$$

где параметр $k \in N$; ω_i , $i = 1, m$ – весовые коэффициенты.

А в работе используется другая функция расстояния:

$$d_k(x) = \bar{d}_k(f(x), \bar{f}) = \min_{i \in 1, m} a_i (f_i(x) - \bar{f}_i) + a_{m+1} \sum_{i=1}^m a_i (f_i(x) - \bar{f}_i), \quad (9)$$

при этом делается допущение о неотъемлемости разницы $f_i(x) - \bar{f}_i$, $i = \overline{1, m}$, где a_i , $i = \overline{1, m}$ – коэффициенты, которые приводят приложения к одинаковой размерности, одновременно учитывают

различную важность критериев; коэффициент a_{m+1} выражает отношение к тому, что важнее – уменьшить близость к цели какого-либо из частичных критериев или суммарную близость всех критериев к целевым значениям.

Метод желаемой точки состоит в расчетах по отношению к каждому критерию $f_i(x), i = \overline{1, m}$ наибольшего и наименьшего значения на множестве альтернатив X :

$$f_i^{\max} = \max_{x \in X} f_i(x); f_i^{\min} = \min_{x \in X} f_i(x), \quad i = \overline{1, m}, \quad (10)$$

далее рассчитываются новые нормативные критерии:

$$\omega_i(x) = \frac{f_i^{\max} - f_i(x)}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (11)$$

на каждом k -м шаге алгоритм на основе анализа выбирают желаемые значения критериев:

$$h_i^k \in [f_i^{\min}, f_i^{\max}], \quad i = \overline{1, m}. \quad (12)$$

Учитывая (12), рассчитываются значения:

$$\omega_i^k = \frac{f_i^{\max} - f_i(x)}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (13)$$

затем рассчитываются коэффициенты новых критериев:

$$a_i^k = \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^m \omega_j^k}{\sum_{j=1}^m \prod_{j=1, j \neq i}^m \omega_j^k}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (14)$$

Оптимальное значение x^k определяется как развязка однокритериальной задачи:

$$x^k = \operatorname{agr} \max_{x \in X} \min_{i \in \overline{1, m}} a_i^k \omega_i(x), \quad (15)$$

в найденной точке x^k рассчитываются значения всех критериев:

$$(f_1(x^k), f_2(x^k), \dots, f_m(x^k)). \quad (16)$$

Показательно, что если данный вектор значений удовлетворяет человека, принимающего решение (ПР), то x^k – искомый оптимум; по-другому осуществляется переход на $(k+1)$ -й шаг, то есть на основе анализа избираются новые желаемые значения критериев $h_i^{k+1}, i = \overline{1, m}$.

Очевидно, что многокритериальные задачи имеют характерную особенность: качество развязки проблемы определяется многими критериями, и без субъектного вмешательства такую задачу решить невозможно [4].

Именно в таких условиях и возникает многокритериальный компромисс, позволяющие определить не один подход (точку зрения), а множество паретно-оптимальных развязок.

Более того, на практике нельзя применять лишь один метод для поиска оптимального решения при комплексной оценке, потому что одни методы

относительно конкретной задачи являются более общими, а другие – более целенаправленными.

Как видно, выбор математических методов для определения оценки международного транспортного коридора является достаточно непростой задачей. Она решается при принятии решения с учетом реального диапазона изменений, определенных для анализа показателей.

Влияние транспортного коридора на развитие приграничных территорий городов и районов, как убеждает нас практика, требует целевого исследования. Однако уже сейчас очевидно, что развитие международных и внешнеэкономических связей, увеличивающиеся с каждым годом объемы грузопассажирских потоков, прежде всего транзитных, позитивно сказываются на общественной, политической ситуации и социально-экономическом положении населения города.

Повседневная жизнь, требования времени побуждают органы государственной власти к принятию все новых стратегических решений. В частности, развитие городов и районов обусловлено активной деятельностью городских советов.

Основными составляющими устойчивого развития городов являются определённые задачи социально, экономически, экологически и территориально ориентированные на сбалансированное развитие, направленное на обеспечение высокого экономического потенциала, полноценной жизненной среды для нынешних и последующих поколений.

Выводы. 1. Проанализированы транспортные пути международных транспортных коридоров, проходящих через территорию Луганской Народной Республики.

2. Дана характеристика международных транспортных коридоров, рассмотрены условия их создания с участием различных видов транспорта.

3. Предложены критерии и разработана методика создания и оценки качества функционирования транспортных коридоров.

Л и т е р а т у р а

1. Тоицкая Н.А. Мультимодальные системы транспортировки и интермодальные технологии: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / Н.А. Тоицкая, А.Б. Чубуков, М.Б. Шалимов. – М., Изд. Центр «Академия», 2009. – 336 с.
2. Федорчук В.В. Теоретичні підходи до оцінювання якості функціонування міжнародних транспортних коридорів // Вісник східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. – № 4 (146) ч. I. – С. 157-161.
3. Нечаев Г.И. Формирование и развитие транспортно-коммуникационной и логистической инфраструктуры востока Украины в условиях глобализации: монография / Г.И. Нечаев, В.А. Струк, Б.П. Гуцало, М.Э. Слободянюк. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2011. – 287 с.
4. Катренко А.В. Дослідження операцій: підручник / А.В. Катренко. – Львів: Магнолія плюс, 2004. – 549 с.

5. Алибеков Б.И., Жуков В.П. Моделирование логистической системы управления транспортным комплексом региона: научная монография. – М.: ВИНТИ РАН, 2007. – 276 с.

6. Куренков П.В., Котляренко А.Ф. Внешнеэкономические перевозки в смешанном сообщении. Экономика. Логистика. Управление / П.В. Куренков, А.Ф. Котляренко. – Самара: Самарская академия путей сообщения, 2002. – 627 с.

7. Пехтерев Ф.С. Экономические аспекты формирования международных транспортных коридоров на территории России / Ф.С. Пехтерев. – М.: Изд-во ГУУ, 2011. – 203 с.

References

1. Toitskaya N.A. Multimodal transportation systems and intermodal technologies: textbook. manual for students of higher. study. institutions / N.A. Toitskaya, A.B. Chubukov, M.B. Shalimov. – M., Ed. Center "Academy", 2009. – 336 p.

2. Fedorchuk V.V. Theoretically approach to assessing the quality of the function of international transport corridors // Bulletin of the Ukrainian National University of Im. Volodymyr Dahl. – 2010. – No. 4 (146) Part I. – P. 157-161.

3. Nechaev G.I. Formirovaniye i razvitiye transportno-kommunikacionnoy i logisticheskoy infrastruktury vostochnoy Ukrainy v usloviyakh globalizatsii: monografiya / G.I. Nechaev, V.A. Struk, B.P. Gucalo, M.E. Slobodjanjuk. – Lugansk: VNU im. V. Dalja, 2011. – 287 p.

4. Katrenko A.V. Pre-operative: pidruchnik / A.V. Katrenko. – Lviv: Magnolia plus, 2004. – 549 p.

5. Alibekov B.I., Zhukov V.P. Modeling of the logistic management system of the transport complex of the region: scientific monograph. – M.: VINITI RAN, 2007. – 276 p.

6. Kurenkov P.V., Kotlyarenko A.F. Foreign economic transportation in multimodal traffic. Housekeeper. Logistics. Management / P.V. Kurenkov, A.F. Kotlyarenko. – Samara: Samara Academy of Railways, 2002. – 627 p.

7. Pekhterev F.S. Economic aspects of the formation of international transport corridors on the territory of Russia / F.S. Pekhterev. – M.: Publishing house GUU, 2011. – 203 p.

Nechaev G.I., Afanasevsky Y.N., Kovtun N.V. METHODOLOGY FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT CORRIDORS

The transport routes of the international transport corridors (ITC) of the Lugansk People's Republic are considered. The characteristics of transport corridors are analyzed. Criteria are proposed and a methodology for assessing the efficiency of transport corridors is developed.

The effect of using MTK to strengthen ties with foreign countries is structurally divided into two parts: the national economic effect and the effect obtained by the owners of the rolling stock and infrastructure of the MTK. The main requirement in substantiating the effectiveness of the development of international transport is the observance of national economic interests, that is, the use of ITC should be effective for the national economy.

Key words: transport corridor, vehicle, transportation process, transport services, transit, and methods of normalization.

Нечаев Григорий Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Nechaev Grigoriy, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Афанасьевский Юрий Николаевич, аспирант кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: afana20011@mail.ru

Afanasyevsky Yuri, postgraduate student of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Ковтун Наталья Витальевна, аспирант кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: knatali944@gmail.com

Kovtun Natalya, postgraduate student of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 22.04.2021

УДК 629.113(075)

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ГОРОДА

Нечаев Г.И., Бондарев Ю.А.

ORGANIZATION OF MOTOR TRANSPORT OPERATION
IN URBAN CONDITIONS

Nechayev G.I., Bondarev Yu.A.

Рассмотрены вопросы организации движения промышленного автотранспорта, предложена методика определения простоя автомобилей на регулируемых и нерегулируемых перекрестках, переходах при различных закономерностях потоков и общего времени движения на маршруте. Разработана математическая модель для определения режимов движения на основе теории массового обслуживания.

Ключевые слова: автомобиль, дорога, перекресток, задержка, время движения.

Введение. На организацию работы автотранспорта при перевозках в пределах города существенное влияние оказывают такие факторы, как выбор маршрута, организация городского движения, скоростной режим, наличие перекрестков, переходов, способы регулирования движения и др. Один из важных параметров движения – время, на маршруте носит случайный характер, и главным образом из-за простоев на перекрестках и переходах. Минимизация простоев автомобилей является актуальной задачей при оптимизации параметров технологического процесса автоперевозок.

Простои на перекрестках зависят от способа регулирования движения. Если перекресток нерегулируемый, то при выезде со второстепенной дороги на магистраль водители должны ожидать, пока между автомобилями, движущимися по магистрали, не образуется интервал, достаточный для выезда на перекресток или его пересечение. На регулируемом перекрестке автомобили ожидают появления разрешающего света светофора, и после этого очередь, в зависимости от интенсивности и рядности движения, рассасывается по одному или группами.

Материалы и результаты исследования. Для оценки продолжительности простоя автомобилей на перекрестках можно воспользоваться теорией массового обслуживания.

Статистические исследования транспортных потоков основных городских магистралей показали, что интервалы между движущимися автомобилями распределяются чаще всего по закону Эрланга, а в

некоторых случаях – по экспоненциальному закону. Поэтому, если представить перекресток как обслуживающий аппарат с числом каналов, равным числу полос движения в одном направлении, который обслуживает поток автомобилей с примыкающей второстепенной дороги, и используя зависимости теории массового обслуживания [1, 2] с интервалами, распределенными по закону Эрланга, время простоя первого в очереди у перекрестка автомобиля можно определить по формуле:

$$W_g = \frac{e^{\lambda ab} - \frac{(\lambda ab)^k}{k}}{\lambda b - \frac{(\lambda ab)^k}{k}}, \quad (1)$$

где b – интервал, необходимый для выполнения маневра на перекрестке;

λ – интенсивность движения потока по

основной магистрали (пересекаемой);

k – число полос движения;

α – порядок распределения;

e – основание натурального логарифма.

При отрицательном экспоненциальном распределении интервалов в пересекаемом потоке и $\alpha = 1$ среднее время ожидания определится по формуле:

$$W_g = \lambda^{-1}(e^{\lambda b} - 1 - \lambda b), \quad (2)$$

а интенсивность пропуска перекрестка:

$$\mu = \frac{1}{W_g} = [\lambda^{-1}(e^{\lambda b} - 1 - \lambda b)]^{-1} = \frac{\lambda}{e^{\lambda b} - 1 - \lambda b}. \quad (3)$$

Среднее время нахождения автомобиля в системе (у перекрестка) при интенсивности автопотока на подходе к перекрестку ν , при однополосном движении составит:

$$W_g = \frac{e^{\lambda b} - 1 - \lambda b}{\lambda - \nu(e^{\lambda b} - 1 - \lambda b)}. \quad (4)$$

При регулировке движения светофором на подходе к перекрестку образуется очередь в течение запрещающего красного сигнала. Среднее время простоя автомобиля у светофора можно определить из уравнения, полученного эмпирическим путем:

$$W_g^p = \frac{t(1-p)^2}{2(1-px)} + \frac{x^2}{2\lambda(1-x)} - 0,65 \left(\frac{t}{\lambda^2}\right)^{\frac{1}{4}} * x^3, \quad (5)$$

где p – для зеленого сигнала в цикле светофора;

x – степень насыщенности потока $P = d/t$ на подходе:

$$X = \frac{d}{PS} = \frac{t}{S},$$

где t – продолжительность цикла светофора, с;
 d – продолжительность зеленого света, с;
 S – поток насыщения, авт./ч.

Анализ третьего слагаемого формулы (5) показал, что в зависимости от длительности зеленой фазы светофора и общей продолжительности цикла величина его составляет в среднем 0,1 от общей длительности простоя. Поэтому формулу задержки каждого автомобиля в упрощённом виде можно записать:

$$W_g^p = \frac{t(1-p)^2}{2(1-px)} + \frac{x^2}{2\lambda(1-x)} - 0,1. \quad (6)$$

Таким образом, имея время задержек на перекрестках и переходах, регулируемых и нерегулируемых, можно получить достаточно обоснованное время движения автомобиля от места погрузки до места выгрузки, и наоборот:

$$T = \sum W_g + \sum W_g^p + t_3 + \frac{L}{V_c}, \quad (7)$$

где t_3 – задержки по непредвиденным обстоятельствам;

L – расстояние маршрута;

V_c – средняя скорость движения.

Выводы. Использование предложенной методики позволяет повысить эффективность организации дорожного движения на наиболее загруженных трассах с большим количеством пересечений.

Л и т е р а т у р а

1. Акулиничев В.М. и др. Математические методы в эксплуатации железных дорог. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
2. Корольук В.С. и др. Справочник по теории вероятности и математической статистики. – М.: Наука, 1985. – 640 с.

R e f e r e n c e s

1. Akulinichev V.M. i dr. Matematicheskie metody v jekspluatacii zheleznyh dorog. – M.: Transport, 1981. – 224 p.

2. Koroljuk V.S. i dr. Spravochnik po teorii verojatnosti i matematicheskoj statistiki. – M.: Nauka, 1985. – 640 p.

Nechayev G.I., Bondarev Yu.A.

ORGANIZATION OF MOTOR TRANSPORT OPERATION IN URBAN CONDITIONS

The issues of organization of industrial motor transport traffic are considered, a methodology for determining car downtime at regulated and unregulated intersections, crossings with different flow patterns and total travel time on the route is proposed. A mathematical model has been developed to determine motion modes based on mass service theory. Using the proposed technique allows to increase the efficiency of traffic management on the busiest routes with a large number of intersections.

Key words: car, road, intersection, delay, driving time.

Нечаев Григорий Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Nechayev Grigoriy, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Бондарев Юрий Алексеевич, руководитель транспортного предприятия объединения ООО «Лугасталь».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Bondarev Yuriy, head of the transport enterprise of Lugastal LLC.

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 15.03.2021

УДК 658.511.2

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕВОЗОК В ГОРОДАХ

Нечаев Г.И., Калужный В.В.

PROBLEMS OF PASSENGER ORGANIZATION TRANSPORTATION IN THE CITIES

Nechayev G.I., Kaluizhnyy V.V.

Организация пассажирских перевозок в городах связана с проблемами, основными из которых являются: загруженность транспортом современных городов, невозможность нормальной работы общественного транспорта, экологические проблемы и безаварийность работы транспорта. Основным видом городского транспорта остается индивидуальный автомобиль, который и порождает большинство проблем. Предлагается заменить легковой автомобиль биотранспортом – преимущественно велосипедом, однако для этого необходимо создать соответствующую инфраструктуру. Пока еще сам велосипед не соответствует современным требованиям и нуждается в совершенствовании.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, проблема, переполнение городов, общественный транспорт, экология, травматизм, биотранспорт, велосипед, инфраструктура.

Введение. Одно из главных мест в перемещении грузов и людей по планете отводится наземному транспорту. Сотни миллионов автомобилей различного назначения заполнили автодороги всех стран мира. Автомобильный транспорт прочно вошел в современную жизнь, обеспечивая большой объем перевозок во всех сферах человеческой деятельности. Промышленность, строительная индустрия, сельское хозяйство, торговля не могут нормально функционировать без широкого использования автомобилей. Автомобильные перевозки стали неотъемлемым звеном транспортного процесса практически на всех видах транспорта, так как подвоз грузов и пассажиров к железнодорожным станциям, водным и воздушным портам обеспечивается главным образом на автомобилях. Однако вместе с развитием наземного транспорта, к сожалению, и обостряются проблемы, связанные с его использованием.

Среди многочисленных проблем основными следует считать такие: загрязнение окружающей среды автомобильными выбросами, перегруженность транспортом автодорог и

населенных пунктов, прямая зависимость автотранспорта от наличия топлива и инфраструктуры, постоянный рост миграции людей и грузов, ухудшение здоровья людей, в частности, увеличение сердечно-сосудистых заболеваний. Особенно это заметно в городах, где наблюдается крайне опасное скопление транспорта и людей в городской черте.

Гигантские размеры городов заставляют развивать городской общественный транспорт, причем без уменьшения количества индивидуального и грузового транспорта. Все это создает ряд проблем, решение которых уже нельзя откладывать, поскольку ситуацию в городах с транспортом можно назвать практически критической. И если не предпринять сегодня попытки изменить ситуацию в лучшую сторону, то в ближайшие годы это может привести к необратимым последствиям. Рассмотрим каждую из названных проблем подробнее.

Анализ последних исследований и публикаций. Наибольшая концентрация автомобилей на единицу площади наблюдается в городах, где как раз и сосредоточена большая часть населения, испытывающая на себе все «прелести» транспортизации. В Париже площадь проезжей части всех улиц составляет 11,6 тыс. м², причем 11,2 тыс. м² (примерно 96,5%) из них может быть занято движущимся или стоящим транспортном [1, с. 42]. В развитых странах площадь, покрытая асфальтом или другими дорожными покрытиями, превышает 1% территории страны. И все же на улицах машинам тесно.

Наибольшее развитие в последние годы получил городской автомобильный транспорт, особенно легковой. Для легковых автомобилей в составе транспортных потоков показатели составляют 70-90%. Уровень автомобилизации в среднем по России составляет 381 машин на 1000 жителей (2019 г.). Впервые появившись на дорогах планеты в 1886 г., автомобиль стал самым массовым транспортным средством. Если в 1900 г. мировой

парк автомобилей насчитывал около 11 тыс. ед., то в 1950 г. он составил 70,4 млн ед. В 1970 г. во всем мире было 230 млн автомобилей, в 1990 г. численность парка составила 550 млн ед., а в 2000 г. достигла 700 млн ед. Ежегодно мировая автомобильная промышленность выпускает более 50 млн автомобилей [2]. Темпы роста автомобилизации в мире составляют 6-12% в год. Процесс автомобилизации меняет не только жизненный уклад людей, но и политику в областях организации движения, развития транспорта. Как показывает мировой опыт, уровень автомобилизации будет возрастать по мере роста экономического потенциала страны [3].

В наших городах всеобщее признание получил общественный транспорт как более экономичный и, в конечном счете, более чистый и быстрый, чем легковые автомобили. С ростом городов, несмотря на совершенствование транспортных средств, время на перемещение увеличивается. В современном городе поездка на транспорте отнимает много времени, при этом доставляет много неприятных ощущений.

Для больших, крупных и крупнейших городов России транспортная подвижность составляет от 400 до 600 поездок. Это означает, что в среднем три раза в два дня каждый из нас пользуется трамваем, троллейбусом, автобусом или метро, потребляет так называемую транспортную услугу, а значит, и все неприятности, видимые и невидимые, которые при всей своей полезности и необходимости городской транспорт несет своему пассажиру [4].

С ростом парка автомобилей, однако, быстро растет частота и продолжительность заторов. Заторы в Москве и большинстве других городов России давно перестали быть мелкими неудобствами, случающимися время от времени. Московские автомобилисты едва ли не ежедневно проводят в них длительное время, притом безо всякой возможности выбраться. Москва является лидером по времени проведения водителей и пассажиров в городских пробках. Москвичи проводят в пробках порядка 210-215 часов в год. Иначе говоря, на каждый год приходится около 9 полных суток [5].

Автомобильная пробка – это не результат плохого проектирования, старых норм или чего-либо подобного. Пробка это избыток машин: они занимают слишком много места и везут крайне мало людей. При вместимости в 5 человек, в среднем в них едут 1,2-1,3 человека, а занимают они место как половина автобуса. Многие города в прошлом веке старались решить проблему нехватки места для автомобилей: сносили кварталы ради развязок, уничтожали трамвай ради еще одной полосы движения и так далее. Облегчение было временным, ведь машин и пробок становилось все больше [6].

Покупка автомобиля в современных российских городах, как правило, сопровождается заменой автомобильными поездками прежних

ежедневных поездок на общественном транспорте. Между тем, если 60 пассажиров троллейбуса или же 200 пассажиров трамвая переседут в свои новые автомобили, они займут на улице в 20 или 60 раз соответственно больше места, чем раньше. Каждая тысяча пассажиров метрополитена, переходя в статус «счастливых» автомобилистов, добавляет в уличный трафик порядка 800 автомобилей. Узкая улица, плотно заставленная припаркованными автомобилями, неизбежно приводит к тому, что проезд по ней затруднен [7].

Еще одной причиной возникших проблем стало интенсивное строительство современных крупных зданий на месте прежних малоэтажных. Замена снесенной пятиэтажки новейшим 40-этажным строением порождает на данной территории многие тысячи новых автомобильных поездок [7].

Проблемы, которые испытывают сегодня российские города, очень похожи на те, с которыми западные города столкнулись на начальном этапе массовой автомобилизации:

- население ускоренными темпами обзаводилось автомобилями; одновременно росла загруженность дорог, приводившая, в частности, к параличу общественного транспорта;
- паралич общественного транспорта склонял еще большее количество горожан к покупке автомобилей.

К этому порочному кругу добавлялась неконтролируемая парковка и пренебрежение интересами пешеходов. Все это вместе приводило и к дальнейшему ухудшению качества жизни в городах [7]. Рост интенсивности движения резко снижает уровень скоростей. Так, в часы «пик» в центральных районах крупных городов мира скорость автомобилей падает до 4-5 км/ч, что практически равно скорости движения пешехода [8, с. 148], то есть скоростные характеристики легкового автомобиля в черте города значительно обесценились.

Основными видами городского пассажирского транспорта является метрополитен, автобус, троллейбус и трамвай. В последние годы большое распространение получило и маршрутное такси, для которого используется микроавтобус вместимостью 14 чел.

Транспорт общего пользования выполняет любые заявки, независимо от их ведомственной принадлежности, включая обслуживание жителей города пассажирским транспортом. Он характеризуется высокими показателями работы, прежде всего повышенной производительностью. Например, на одного водителя метро приходится одновременно до 600 человек, трамвая – 200 человек, троллейбуса и автобуса – от 8 до 100 человек, а такси – максимально 4 чел.

Однако в России общественный транспорт малокомфортабелен, поскольку в настоящее время на 1 м² площади пола транспортного средства приходится до 10 человек при норме 4-5 человек.

Массовый транспорт общего пользования способствует также разрешению проблемы занятости территории города (один квадратный метр улицы), приходящейся на одного пассажира. На один автомобиль, находящийся в движении, приходится площадь 250 м^2 при максимальной вместимости 4 человека; на один автобус и один троллейбус – 400 м^2 при вместимости в среднем 60 человек; на один трамвай – 1000 м^2 при вместимости более 200 человек. В автомобиле на одного пассажира приходится примерно 5 м^2 площади, в троллейбусе или автобусе – $0,75 \text{ м}^2$, а в трамвае – $0,5 \text{ м}^2$. Удельная площадь на одного пассажира автомобиля в 95 раз больше городской площади, занимаемой пассажиром метрополитена. Легковой автомобиль по использованию городской площади имеет самые худшие показатели [6]. Одна трамвайная линия, с точки зрения обслуживания пассажиропотока, эквивалентна пятнадцати полосам автодороги. Во многих городах истинная скорость сообщения пассажиров на общественном транспорте составляет всего 10-12 км/ч и нередко снижается до скорости пешехода. Это приводит к колоссальным потерям общественного времени и резкому снижению показателей качества жизни в городе.

Главное значение при выборе вида транспорта для обслуживания жителей города имеет соответствие провозной способности данного вида транспорта мощности пассажиропотоков, что дает гарантию своевременного обслуживания. По данным опроса жителей Москвы, проводимого 02 июня 2020 года, после снятия ковидных ограничений, собираются пользоваться исключительно собственным автомобилем 37% ,участвовавших в опросе, 30% будут использовать общественный транспорт только в случаях крайней необходимости. Таким образом, городским наземным и подземным транспортом будет пользоваться вполнину меньше москвичей, чем в доковидный период, а количество горожан на личных автомобилях снизилось на 14% [9].

Выбор того или иного способа тянет за собой другие сферы: экологию, развитие бизнеса, дружелюбность города для других, безопасность и др.

При всей важности транспортно-дорожного комплекса как неотъемлемого элемента экономики необходимо учитывать его весьма значительное негативное воздействие на природные экологические системы. Известно, что особенно резко эти воздействия ощущаются в крупных городах, возрастая по мере увеличения плотности населения. Эта закономерность справедлива и в отношении городского пассажирского транспорта, который в большинстве случаев концентрируется вокруг так называемых пунктов тяготения – там, где зарождаются, объединяются, распыляются и поглощаются потоки пассажиров.

В конце 80-х – начале 90-х гг., то есть до начала быстрого спада промышленного производства, на территории бывшего СССР загрязнение атмосферы от всех стационарных источников составляло 64%, а от автомобильного транспорта – 34% от общей его величины [7]. В настоящее время удельный вес транспорта в этом показателе еще более высок. Весьма существенно и отрицательное воздействие транспорта на шумовой комфорт. Транспортные средства создают около 80% всех шумов, возникающих в местах длительного пребывания человека. Менее резко отличаются шумовые характеристики, но и здесь, если уровень шума, образуемого большинством эксплуатируемых в стране автобусов, устойчив в пределах 85-90 дБА, а троллейбусами на уровне 76 дБА, то у трамваев уровень шумообразования снижается по мере совершенствования конструкции подвижного состава. Шум на улицах достигает 95-100 дБ вместо 45-40 дБ по нормам, вредных примесей в воздухе в 10-12 раз больше, чем это можно допустить. Как показывают опросы, от транспортного шума страдают в Германии 52%, в Швеции 51%, в Чехии – 50% населения, и этот процент постоянно увеличивается [10].

Ясно, что городской пассажирский транспорт, его достаточное развитие и соответствующий уровень функционирования – непеременные условия жизни современного города и его населения. Однако столь же очевидно, что именно деятельность городского транспорта, в том числе пассажирского, может быть признана одним из основных факторов негативного влияния на состояние среды обитания в городах, особенно крупных и крупнейших.

Необходима комплексная оценка функционирования городских транспортных систем, их экологической чистоты, эргономического взаимодействия с другими элементами городской инфраструктуры, включая и показатели безопасности движения и некоторые другие «нетрадиционные» проявления. Транспортный налог и топливные акцизы не покрывают даже износ асфальта. Уже давно подсчитали, что вкладывание денег в автомобильные поездки внутри города приносит обществу убытки. Но тут стоит различать поездки внутри города и между городами – это разные вещи, мы сейчас говорим именно про город.

Несколько слов о вредности выхлопных газов, образующихся и выбрасываемых в атмосферу автомобильным транспортом [7]: угарный газ, двуокись азота, углеводороды бензинового ряда, сажа, формальдегиды, свинец, бензопирен и другие – довольно опасные выделения автомобилей, накапливаемые в организме городского жителя.

О безопасности движения – единственном факторе, который может быть оценен конкретным числом пострадавших. В 1988 г., например, в границах тогдашнего СССР в результате дорожно-транспортных происшествий погибли более 47 тысяч человек, в то время как жертвами

производственного травматизма стали всего 14,4 тысяч. По данным того же периода, ежедневно в стране имели место около 700 ДТП, при которых более 100 человек погибали, а более 700 получали ранения. Установлено, что в числе пострадавших преобладают пешеходы (примерно 50-55%), причем около четвертой части их не виноваты в случившемся. Статистика также сообщает, что более 60% всех ДТП приходится на населенные пункты, а из их числа почти две трети (65%) совершается в 114 крупных и крупнейших городах, где проживают 45% всего городского населения России [11].

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, автомобилизация наряду с безусловно положительным влиянием на экономику и социальное развитие государств несет в себе и отрицательные последствия, связанные с большим числом дорожно-транспортных происшествий (ДТП), погибших и раненых, огромным материальным ущербом, негативным влиянием на экологическое состояние городской среды, загромождением улиц стоящими автомобилями. Поданным Всемирной организации здравоохранения, в результате ДТП во всем мире ежегодно погибают 1171 тыс., и получают ранения около 10 млн чел. По числу жертв ДТП Россия занимает одно из первых мест в мире (в 2000 г. в России в результате ДТП погибло 29,6 тыс. чел.). Тяжесть последствий ДТП у нас в 7-10 раз выше, чем в США и большинстве стран Европы. За 1990-2000 гг. в Российской Федерации зарегистрировано почти 1,9 млн ДТП, в которых погибло более 360 тыс. чел., и более 2 млн чел., получили ранения [2].

Цель исследования – показать несколько основных проблем, связанных с городским общественным и индивидуальным транспортом, которые очевидны для городских жителей. Но наряду с указанными проблемами существуют и иные, хотя и неочевидные, но такие же важные и требующие своего решения: ремонт дорог, прокладка новых, организация дорожного движения и другие.

Материалы и результаты исследования. Понятно, количество городского транспорта, хотим мы или не хотим, будет неизменно возрастать, как и население городов будет уплотняться, следовательно, напряжение будет расти. Конечно, общественный транспорт как наиболее безвредный и эффективный по количеству перевозимых пассажиров вероятно останется. Наибольшую тревогу вызывает индивидуальный легковой автомобиль не как менее эффективный, особенно в городской черте, а как наиболее загрязняющий окружающую среду выхлопными газами. Если от него избавиться (или заменить) на иной, более экологически чистый, то в городах станет куда приятней жить.

Что можно предложить взамен? Биотранспорт, который, по нашему мнению, позволяет решить ряд

проблем городского транспорта, успешно заменяя легковой автомобиль. Под биотранспортом в данном контексте имеется в виду транспортные средства, приводимые в движение мускульной силой человека. Наибольшее распространение получили скейты, самокаты, роликовые коньки, велосипеды и веломобили, которые, к тому же, в помощь пользователям можно оснащать дополнительными электрическими двигателями (из рассмотрения исключены сегвеи, которые приводятся в движения только за счет энергии двигателя, а не мускульной силы). Эта идея не нова, однако не является преобладающей из-за ряда проблем как с организацией биотранспортного движения именно в городах, так и с несовершенством самого биотранспорта.

Опыт отдельных стран мира, в первую очередь таких, как Индия, Вьетнам, Китай, Япония, Таиланд, Швеция, Дания, Голландия, а также других стран, показывает, что широкое использование индивидуальных транспортных средств, созданных на базе велосипеда, в значительной мере способствует решению транспортных проблем. При массовом использовании таких транспортных средств можно выделить, по меньшей мере, три положительных аспекта, ни у кого не вызывающих сомнений: экономичность, оздоровительная тренировка и экологическая безопасность.

Будут ли горожане пользоваться биотранспортом, который по техническим характеристикам уступает легковому автомобилю? Уместно напомнить, что в ряде случаев принимаются серьезные меры по ограничению движения легковых автомобилей. В настоящее время, например, движение автомобилей по центральным улицам многих городов ограничено или вообще запрещено.

Уличные магистрали стремятся в разумных пропорциях разделить между пешеходами, велосипедистами и другими видами транспорта. В США еще в далеком 1985 году было построено примерно 160 000 км велодорожек [12, с. 22]. Уже тысячи городов в мире построили велодорожки, причем 90% средств финансирует федеральное правительство и лишь 10% приходится на долю местного бюджета. В качестве временной меры полоса для движения велосипедистов на автодорогах отделена белой чертой.

Многих может поразить масштаб пешеходов, даже в довольно крупных городах. Например, в г. Таллине более 57% всех передвижений совершается пешком (в центре города – 63%). В городе-курорте Паланге, протянувшимся вдоль побережья на 15 км, более 80% передвижений совершается пешком и на велосипеде [13, с. 7]. Нет сомнения, что многие люди захотели бы быстрое и в то же время простое транспортное средство. При хорошей организации веломобильного транспорта время для перемещения было бы временем отдыха, во всяком случае служило бы неременной

физической нагрузкой. Показательными могут быть масштабы использования велосипедного транспорта в ряде стран Европы, где значительная доля населения систематически ездит на велосипедах, причем, чем меньше город, тем интенсивнее использование велосипеда [14, с. 14].

Если рассмотреть транспортные нужды жилых районов городов, то, в основном, это будет перевозка людей. Требуемая для их ежедневного обеспечения перевозка груза по массе составляет лишь несколько процентов от общего транспортного оборота. В этих районах биотранспорт может обеспечить перевозку значительной части людей. А при развитой сети путей вполне реальна и велосипедная транспортная система, выполняющая основные транспортные перевозки.

Таким образом, в городах все большее признание получает транспорт, движимый биоэнергией мускулов самого пассажира. Сейчас это пешеходы и велосипедисты. В недалеком будущем можно ожидать создание такой транспортной системы, которую кратко можно назвать биотранспортом. На малые расстояния лучший транспорт – пешеходный. В настоящее время многие люди занимаются оздоровительным бегом со скоростью, примерно вдвое превосходящей скорость пешехода. Пешеходов и велосипедистов «напрягает» загрязненность окружающей среды. Последняя пандемия показала, что ограничения в работе транспорта очистили окружающую среду, использование индивидуального биотранспорта позволяет неукоснительно соблюдать режим самоизоляции, который, вероятно, станет скоро нормой нашей жизни. И в этом решающая роль принадлежит биотранспорту как экологически чистой транспортной системе.

Настало время серьезно задуматься и о дорогах для велосипедов, и о развитии системы велосипедного транспорта в современном городе. Веломобиль в условиях современного большого города, который при минимальных мышечных затратах (при полном отсутствии потребления топлива и других видов энергии) и занимаемой площади на стоянке, является экологически безвредным.

Веломобиль и велосипед, в отличие от других транспортных средств, не загрязняет воздух и не создает шума. Как известно, загрязнение и шум лучше всего снижать, или вообще исключить, непосредственно в самом источнике их возникновения. В велосипеде это делается радикально: источник – мотор – исключен из конструкции как таковой. Затраты энергии в велосипедном транспорте при этом играют положительную роль, защищая, например, от гиподинамии.

Скорость велосипеда в большей мере зависит от индивидуальных качеств велосипеда и дороги. Ветер существенного влияния не оказывает. Высокая скорость желательна для уменьшения

потерь времени при переезде из одного пункта города в другой.

Существует также и другая причина того, чтобы скорость велосипеда была достаточно высокой: поддержка высокой пропускной способности велосипедных дорог. Если принять в целом доступную для человека средних физических данных мощность 0,2 кВт, то скорость велосипеда составит около 40 км/час. При меньших скоростях резко падает необходимая мощность для его передвижения. Например, при скорости 10 км/час необходима мощность около 0,03 кВт. Физически подготовленные люди могут развивать на велосипеде скорость до 50–60 км/час.

Во время поездки по городу велосипедист прикладывает физические усилия к приводу велосипеда лишь на протяжении части (45–70%) общего времени поездки. Остальное время движение происходит по инерции. Вместо тормоза можно использовать инерционный аккумулятор или пиковый электропривод, работающий в режиме генератора. При наличии ровного рельефа местности, хорошей организации движения и опыта велосипедиста пользоваться тормозами практически не приходится.

Таким образом, велосипед имеет большие преимущества, по сравнению с городским транспортом и автомобилем: нет выхлопных газов, отсутствуют вибрации и шум, довольно удобная поза для водителя и пассажиров, постоянная готовность велосипеда к поездке и, конечно же, отсутствие необходимости дозаправки топливом. Удачные в физиологическом отношении движения без особого напряжения являются более предпочтительными, по сравнению с неподвижным сидением. К этому остается добавить психологический комфорт индивидуального транспорта.

В велосипеде очень важна с точки зрения биомеханики поза и характер движений человека. Езда на велосипеде недостаточно гармонично развивает мышцы человека. Веломобиль в оздоровительных целях позволяет использование различных движений, которые могут видоизменяться на протяжении одной поездки. Практически используются и рекомендуются два основных вида движения: круговое педалирование и движение академической гребли в полусидящем положении тела, причем руль может поворачиваться за счет различных движений рук, ног и в целом тела человека. Удобной считается конструкция руля, при которой руки находятся около бедер вдоль тела человека. Передаточные отношения должны быть способными обеспечивать оптимальную частоту движений ног, а мгновенное передаточное число должно соответствовать биомеханическим параметрам тела.

Энергии при движении на велосипеде тратится меньше в сравнении с ходьбой. Физическую нагрузку на нижние конечности можно

регулировать, добиваясь индивидуального комфорта. Средняя терапевтическая нагрузка на мышцы достигается при скорости движения 17-20 км/час, что составляет 55-65% нагрузки на мышцы. Такая нагрузка рекомендуется для тренировки сердца, сосудов, легких, при езде на велосипеде 80% мышц включается в работу [15]. Поэтому поездки на велосипеде рекомендуются больным в процессе выздоровления и реабилитации после заболеваний сердечной или сосудистой системы. Не каждый человек после перенесения патологического синдрома может сесть на велосипед, хорошим альтернативным вариантом является велосипед. В некоторых больничных учреждениях имеются велосипедные тренажеры, однако лечебный эффект в процессе езды на велосипеде на открытом воздухе гораздо выше. У пациента повышается настроение, что способствует скорейшему выздоровлению. При этом утомляемость водителя велосипеда значительно ниже, чем велосипедиста на аналогичной дистанции и при такой же скорости. По сравнению с велосипедом велосипеду, для поддержания крейсерской скорости в 30 км/час требуется в 3,5 раза меньше усилий человека [16].

Любая новая городская транспортная система может быть жизнеспособна только при условии повышения скорости, экономичности и комфортабельности городских средств сообщения. При соответствующей организации средняя скорость сообщения велосипедного транспорта на расстоянии до 10-15 км может достигать 30 км/час. Это в 2-3 раза превышает скорость передвижения на общественном транспорте (кроме такси, если не считать времени его ожидания). На расстоянии до 10-15 км велосипед по затратам времени примерно можно сравнить с автомобилем (учитывая поход к гаражу, разогрев двигателя, заправку горючим, техобслуживание). Если принять, что среднее расстояние поездки на работу составляет в различных городах от 4 до 6 км (как, например, это имеет место в Германии, где 60% жителей ездят на работу не далее 4 км), то применение велосипеда вполне оправдано как по времени, так и по финансовым затратам. Необходимо иметь в виду, что время, затраченное на поездку велосипедом в противоположность автомобилю, является активным временем для физкультуры и положительных эмоций.

Сейчас уделяется повышенное внимание к биотранспорту. Современный мир необратимо изменился. Это связано не только с угрозой пандемий, вынуждающих необходимость соблюдать социальную дистанцию, но и психическое напряжение достигло своего предела, загрязнение окружающей среды выхлопными газами привело к глобальному потеплению. И люди озабочены своим здоровьем, как никогда ранее. Это не пессимистическое настроение, а реалии наших дней. Общество расслабилось, личная гигиена на низком уровне, что, рано или поздно, так или иначе привело

бы к печальным последствиям. И дело не в коронавирусе. Вирусы были и раньше (испанка), но это ничему не научило. Кстати, с ними, с вирусами, по-видимому, придется смириться на долго, если не навсегда. Поэтому в транспорте надо что-то менять.

Конечно, сейчас активизируется создание экологического транспорта, электровозов, но при этом не следует забывать, что выработка электроэнергии также загрязняет окружающую среду, поскольку производится в абсолютном большинстве случаев на тепловых и атомных электростанциях, поскольку реки не добавляются, а те, что есть, уже забиты гидроэлектростанциями и изменяют систему орошаемых земель. Сегодня, по данным специалистов ООН пандемия коронавируса сократила выбросы углекислого газа на 17% в день! По прогнозам аналитиков, если существующие ограничения продержатся до конца 2020 года, то количество углекислого газа, выброшенного в атмосферу, сократится на 8%. Сегодня уровень углекислого газа в атмосфере побил рекорд за 23 миллиона лет, что грозит необратимыми последствиями в виду «глобального потепления» со всеми вытекающими последствиями [17].

Выводы. Высокая плотность в городах транспорта, нехватка парковок, особенно в центральной части, экологические проблемы, проблема организации перевозки пассажиров общественным транспортом вынуждает принимать безотлагательные меры по совершенствованию городской транспортной системы. Все это невольно наталкивает на мысль, что велосипедный транспорт в недалеком будущем получит должное развитие. На это имеется несколько причин. Во-первых, переосмысление дорожной сети и увеличение числа велосипедов и прочих пользователей биотранспорта транспорта влияет на среднюю скорость автомобилей, снижая число происшествий и их жертв. Во-вторых, неудобство и дороговизна использования автомобиля создает стимулы для отказа от него. В-третьих, отказавшиеся от автомобиля люди по-другому подходят к выбору места жилья и работы – они предпочитают селиться ближе к работе или ищут работу в вело- или шаговой доступности от дома, что в свою очередь начинает влиять на рынок жилья. Сегодня организация велосипедного движения в городах крайне затруднена. Город уже существует, а велосипедной транспортной системы – еще нет. В городе уже есть магистрали, которые в большой степени не пригодны для организации на них движения мускульных видов транспорта. Понятно, что в новых микрорайонах городов можно спроектировать дороги с учетом велосипедного транспорта, но как быть с существующими дорогами, пока неизвестно. Велосипед должен занять промежуточное положение между индивидуальным легковым автомобилем и безопасным, относительно тихходным велосипедом, заменив большую часть

индивидуальных автомобилей в городской черте. Возможно для этого вида мускульного транспорта необходимо внести дополнения в правила дорожного движения, дополнительные полосы движения, ввести дополнительные дорожные знаки, дополнительные секции в светофоры или еще что-то. Исследования покажут. Важно, чтобы новая биотранспортная система смогла органично вписаться в уже существующую.

Л и т е р а т у р а

1. Самойлов Д. С. Организация и безопасность городского движения / Д. С. Самойлов, В. А. Юдин, П. В. Рушевский. – М.: Высшая школа, 1981. – 253 с.

2. Прогнозы развития транспорта. Основные факторы, влияющие на формирование транспортных потоков на улично-дорожной сети города. – Название с экрана. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studopedia.org/6-18046.html>. Вход в сайт: 10.04.2021.

3. Михайлов А. Дом поперек дороги. – Название с экрана. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazeta.ru/column/mikhailov/5240701.shtml>. Вход в сайт: 30.04.2021.

4. Проблема городского транспорта. Название с экрана – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studwood.ru/1679563/tehnika/problemy_gorodskogo_transporta. Вход в сайт: 06.04.2021.

5. Манукян М. Будущее европейских городов без пробок. – Название с экрана. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://euro-pulse.ru/eurotrend>. Вход в сайт: 10.04.2021.

6. Городская мобильность: почему города убирают автомобили и пересаживают людей на велосипеды. – Название с экрана. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gre4ark.livejournal.com/725714.html>. Вход в сайт: 10.04.2021.

7. Транспорт в городах, удобных для жизни. Название с экрана. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bookitut.ru/Transport-v-gorodakh-udobnykh-dlya-zhizni.12.html>. Вход в сайт: 10.04.2021.

8. Пугачев И. Н. Организация и безопасность движения: учеб. пособие / И. Н. Пугачев. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2004. – 232 с.

9. Россияне не собираются пользоваться общественным транспортом после отмены самоизоляции. Название с экрана. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://news.rambler.ru/moscow_city/44300694. – Вход в сайт: 06.06.2020.

10. Крейдин З. Защита от шума в жилом районе / З. Крейдин // Строительство и архитектура Москвы. – 1978. – № 2. – С. 18-19.

11. Автомобильный транспорт в городе: проблемы и пути их разрешения. – Название с экрана. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://school-science.ru/6/23/38293>. Вход в сайт: 06.04.2021.

12. Ермаков С. В. Солнце в спицах / С. В. Ермаков, В. А. Капитонов. – М.: Знание, 1981. – 120 с.

13. Буринскене М. Исследование характеристик велосипедного движения и сфера его применения в городах / М. Буринскене. – Автoref. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. – М.: МИСИ, 1982. – 20 с.

14. Budapest international wissenschaftliche Beratung für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik über Verbesserung des Fussgänger und Radverkehrs. Thesen. – Budapest: Verkehrswissenschaftlicher Verein, 1981. – 40 p.

15. Веломобиль. Название с экрана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Веломобиль>. Вход в сайт: 10.05.2020.

16. Велотренажер: польза и вред занятий на нем. Полезные советы. Название с экрана. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: doktora.guru/polezno-znat/velotrenazher.html. – Вход в сайт: 07.04.2020.

17. Уровень углекислого газа в атмосфере побил рекорд за 23 миллиона лет. Название с экрана. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.mail.ru/society>. – Вход в сайт: 02.06.2020.

References

1. Samoylov D. S. Organizatsiya i bezopasnost gorodskogo dvizheniya / D. S. Samoylov, V. A. Yudin, P. V. Rushevskiy. – M.: Vysshaya shkola, 1981. – 253 p.

2. Prognozy razvitiya transporta. Osnovnyye faktory. vliyayushchiye na formirovaniye transportnykh potokov na ulichno-dorozhnoy seti goroda. – Nazvaniye s ekrana. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://studopedia.org/6-18046.html>. Vkhod v sayt: 10.04.2021.

3. Mikhailov A. Dom poperek dorogi. – Nazvaniye s ekrana. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.gazeta.ru/column/mikhailov/5240701.shtml>. Vkhod v sayt: 30.04.2021.

4. Problema gorodskogo transporta. Nazvaniye s ekrana – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://studwood.ru/1679563/tehnika/problemy_gorodskogo_transporta. Vkhod v sayt: 06.04.2021.

5. Manukyan M. Budushcheye evropeyskikh gorodov bez probok. – Nazvaniye s ekrana. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://euro-pulse.ru/eurotrend>. Vkhod v sayt: 10.04.2021.

6. Gorodskaya mobilnost: pochemu goroda ubirayut avtomobili i peresazhivayut lyudey na velosipedy. – Nazvaniye s ekrana. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://gre4ark.livejournal.com/725714.html>. Vkhod v sayt: 10.04.2021.

7. Transport v gorodakh. udobnykh dlya zhizni. Nazvaniye s ekrana. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://bookitut.ru/Transport-v-gorodakh-udobnykh-dlya-zhizni.12.html>. Vkhod v sayt: 10.04.2021.

8. Pugachev I. N. Organizatsiya i bezopasnost dvizheniya: Ucheb. posobiye / I. N. Pugachev. – Khabarovsk: Izd-vo Khabar. gos. tekhn. Un-ta. 2004. – 232 p.

9. Rossiyanе ne sobirayutsya polzovatsya obshchestvennym transportom posle otmeny samoizolyatsii. Nazvaniye s ekrana. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://news.rambler.ru/moscow_city/44300694. – Vkhod v sayt: 06.06.2020.

10. Kreydin Z. Zashchita ot shuma v zhilom rayone / Z. Kreydin // Stroitelstvo i arkhitektura Moskvy. – 1978. – № 2. – P. 18-19.

11. Avtomobilnyy transport v gorode: problemy i puti ikh razresheniya. – Nazvaniye s ekrana. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://school-science.ru/6/23/38293>. Vkhod v sayt: 06.04.2021.

12. Erdakov S. V. Solntse v spitsakh / S. V. Erdakov, V. A. Kapitonov. – M.: Znaniye, 1981. – 120 p.

13. Burinskene M. Issledovaniye kharakteristik velosipednogo dvizheniya i sfera ego primeneniya v gorodakh / M. Burinskene. – Avtoref. dis. na soisk. uchen. stepeni kand. tekhn. nauk. – M.: MISI. 1982. – 20 p.

14. Budapest internationale wissenschaftliche Beratung für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik über Verbesserung des Fussgänger und Radverkehrs. Thesen. – Budapest: Verkehrswissenschaftlicher Verein. 1981. – 40 p.

15. Velomobil. Nazvaniye s ekrana [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Velomobil>. Vkhod v sayt: 10.05.2020.

16. Velotrenazher: polza i vred zanyatiy na nem. Poleznyye soveti. Nazvaniye s ekrana. – Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: doktora.guru/polezno-znat/velotrenazher.html. – Vkhod v sayt: 07.04.2020.

17. Uroven uglekislogo gaza v atmosfere pobil rekord za 23 milliona let. Nazvaniye s ekrana. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://news.mail.ru/society>. – Vkhod v sayt: 02.06.2020.

Nechayev G.I., Kaluizhnyy V.V.

PROBLEMS OF PASSENGER ORGANIZATION TRANSPORTATION IN THE CITIES

The organization of passenger transportation in sites is associated with problems, the main of which are: traffic congestion in modern cities, the impossibility of normal operation of public transport, environmental problems and trouble-free operation of transport. The main mode of urban transport is an individual car, which creates most of the problems. It is proposed to replace a passenger car with biotransport, mainly a velomobile, but for this it is necessary to create an appropriate infrastructure. The velomobile itself does not yet meet modern requirements and needs to be improved.

Key words: passenger traffic, problem, overcrowding of cities, public transport, ecology, injuries, biotransport, velomobile, infrastructure.

Нечаев Григорий Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Nechayev Grigoriy, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Калужный Валерий Вилинович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Интеллектуальные права», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: kvkvkvkv@mail.ru

Kaluizhyy Valeriy, Ph. D., Associate Professor, Head of the Department "Intellectual's Lowes" Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University»

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, д.т.н., проф., проректор по научной и инновационной деятельности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана: 15.04.2021

УДК 629:592:004.942

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ШУМОВ, СОЗДАВАЕМЫХ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Нечаев Г.И., Малахова В.В.

DEVELOPMENT OF TOOLS TO SUPPORT EXPERIMENTAL STUDIES OF THE SPECTRAL COMPOSITION OF NOISE GENERATED BY RAILWAY ROLLING STOCK

Nechayev G.I., Malakhova V.V.

Статья посвящена актуальной теме разработки программно-аппаратных средств обеспечения экспериментальных исследований спектрального состава шумов, создаваемых подвижным составом железнодорожного транспорта. Описана программно-аппаратная реализация метода определения спектрального состава акустического шума, создаваемого дисковыми тормозами подвижного состава в процессе торможения.

Ключевые слова: акустическое загрязнение, дисковый тормоз, микроконтроллер, обработка сигналов, спектральный состав, преобразование Фурье.

Введение. Одной из отличительных черт последних десятилетий XX века и начала XXI века стала интенсификация процессов передвижения людей и перемещения грузовых потоков. Активно расширяется сеть транспортных коммуникаций, кратно возрастают интенсивность движения и скорости передвижения транспортных средств. Обратной стороной медали становится резкое увеличение техногенной нагрузки на экологическое состояние окружающей среды: загрязнение воздуха, водных и земельных ресурсов. Одним из аспектов негативного воздействия интенсификации транспортных процессов на окружающую среду становится ее акустическое загрязнение. Так, основными источниками шума, создаваемого подвижным составом железнодорожного транспорта, являются: удары при движении колесных пар на стыках и неровностях рельсового полотна, турбулизация потока воздуха при обтекании им движущегося со значительной скоростью подвижного состава и звуковые эффекты, сопровождающие работу тормозных систем [1].

Если первые два направления борьбы за снижение интенсивности генерации акустического шума: совершенствование конструкции рельсового полотна и улучшение аэродинамических

характеристик скоростных поездов, находятся под пристальным вниманием научного сообщества, то третье направление – борьба с шумом, создаваемым тормозными системами транспортных средств, представляет интерес к более подробному изучению.

Постановка задачи. Представить разработку средства обеспечения экспериментальных исследований спектрального состава шумов, создаваемых подвижным составом железнодорожного транспорта в процессе торможения. Выполнить имитационное моделирование работы разработанной системы.

Изложение основного материала. В процессе торможения подвижного состава система торможения за счет использования силы трения скольжения между тормозными колодками, прижатыми к торцевым поверхностям тормозного диска, преобразует кинетическую энергию движущегося состава в тепловую энергию, которая рассеивается в окружающее пространство [2]. Практика показывает, что этот процесс зачастую сопровождается возникновением и развитием колебательного процесса, сопровождающегося выбросом части высвобождаемой энергии в окружающую среду в виде звуковых колебаний – акустического шума. Вероятность возникновения генерации и интенсивность акустического шума имеет многокритериальный характер и зависит от сочетания множества факторов: скорости вращения колесной пары и, соответственно, тормозного диска, материала и конфигурации тормозных колодок, температуры в зоне фрикционного контакта, состояния трущихся поверхностей и т.д.

Звуковой сигнал, генерируемый вибрирующими участками 1 (рис. 1) поверхности тормозного диска 2, находящегося в силовом фрикционном взаимодействии с тормозными колодками 3 [3], воспринимается первичным

измерительным преобразователем – микрофоном 4, усиливается усилителем 5, оцифровывается и проходит математическую обработку в измерительной системе 6, которая и является предметом рассмотрения данной статьи.

Наличие достоверной информации о спектральном составе измеренного и оцифрованного звукового сигнала позволяет провести оценку и сформулировать предположение, какие компоненты или какие части компонентов дисковой тормозной системы непосредственно задействованы в колебательном процессе и являются источником акустического загрязнения окружающей среды.

Первичная измерительная информация представлена в виде массива оцифрованных значений функции звукового давления от времени $P_{зв}(t)$.

Массив первичной измерительной информации подвергается математической обработке, в результате которой формируется спектрограмма – функциональная зависимость амплитуды гармонических колебаний звукового давления от частоты $A(f)$.

Одним из путей решения поставленной задачи является способ, предложенный французским ученым, инженером, математиком и физиком Жан Батист Жозеф Фурье, – разложение исходной функции в конечный или бесконечный ряд тригонометрических функций, каждая из которых будет характеризоваться своей амплитудой, частотой и начальной фазой:

$$G(f) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) e^{-2\pi \cdot f \cdot t} dt,$$

где $g(t)$ – исходный сигнал (функция зависимости звукового давления от времени);

$G(f)$ – спектральная плотность сигнала [4].

Использование в составе разрабатываемой системы микроконтроллера для выполнения математических операций позволило получать результат математической обработки измерительной информации (спектрограмму звукового сигнала) в реальном времени непосредственно в месте производства замера. Однако применение классического преобразования Фурье в качестве основы математического аппарата обработки измерительной информации потребовало бы для получения результата выполнения большого количества арифметических операций формате с плавающей запятой [5] и соответственно времени на их выполнение.

Для уменьшения нагрузки на вычислительное ядро проектируемой системы и, соответственно, требований к производительности используемого микроконтроллера было принято решение в

качестве основы математического аппарата использовать один из вариантов алгоритма быстрого преобразования Фурье (FFT) с прореживанием по времени [6]. Данный алгоритм является частным случаем базового алгоритма и использует разбиение исходного массива чисел на два с последующим рекурсивным вычислением каждого массива чисел по дискретному преобразованию Фурье с последующим объединением результатов вычислений.

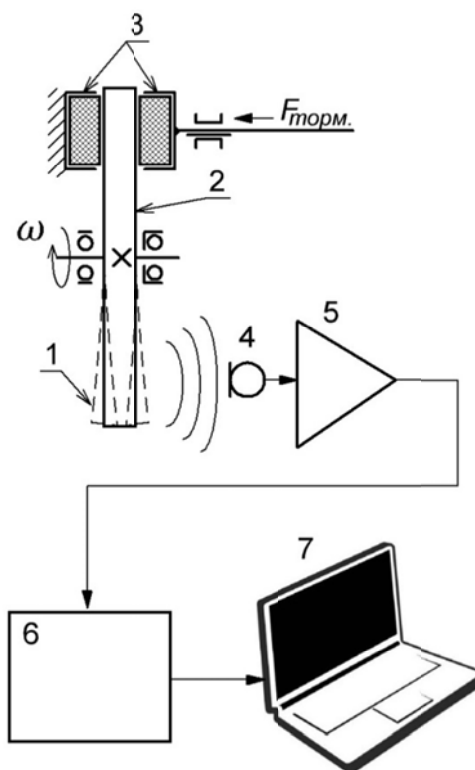


Рис. 1. Принципиальная схема проведения эксперимента: 1 – зона генерации акустического шума; 2 – тормозной диск; 3 – тормозные колодки; 4 – первичный преобразователь – микрофон; 5 – усилитель; 6 – устройство первичной обработки измерительной информации; 7 – персональный компьютер

Для проверки работоспособности разработанной системы проводим имитационное моделирование ее работы средствами САПР. Подаем на вход гармонический сигнал с частотой 10 кГц. Результат математической обработки такого сигнала с использованием быстрого преобразования Фурье представлен на рис. 2. Виден отчетливый экстремум полученной функции спектральной плотности сигнала $G(f)$ на участке, соответствующем частоте входного сигнала 10 кГц.

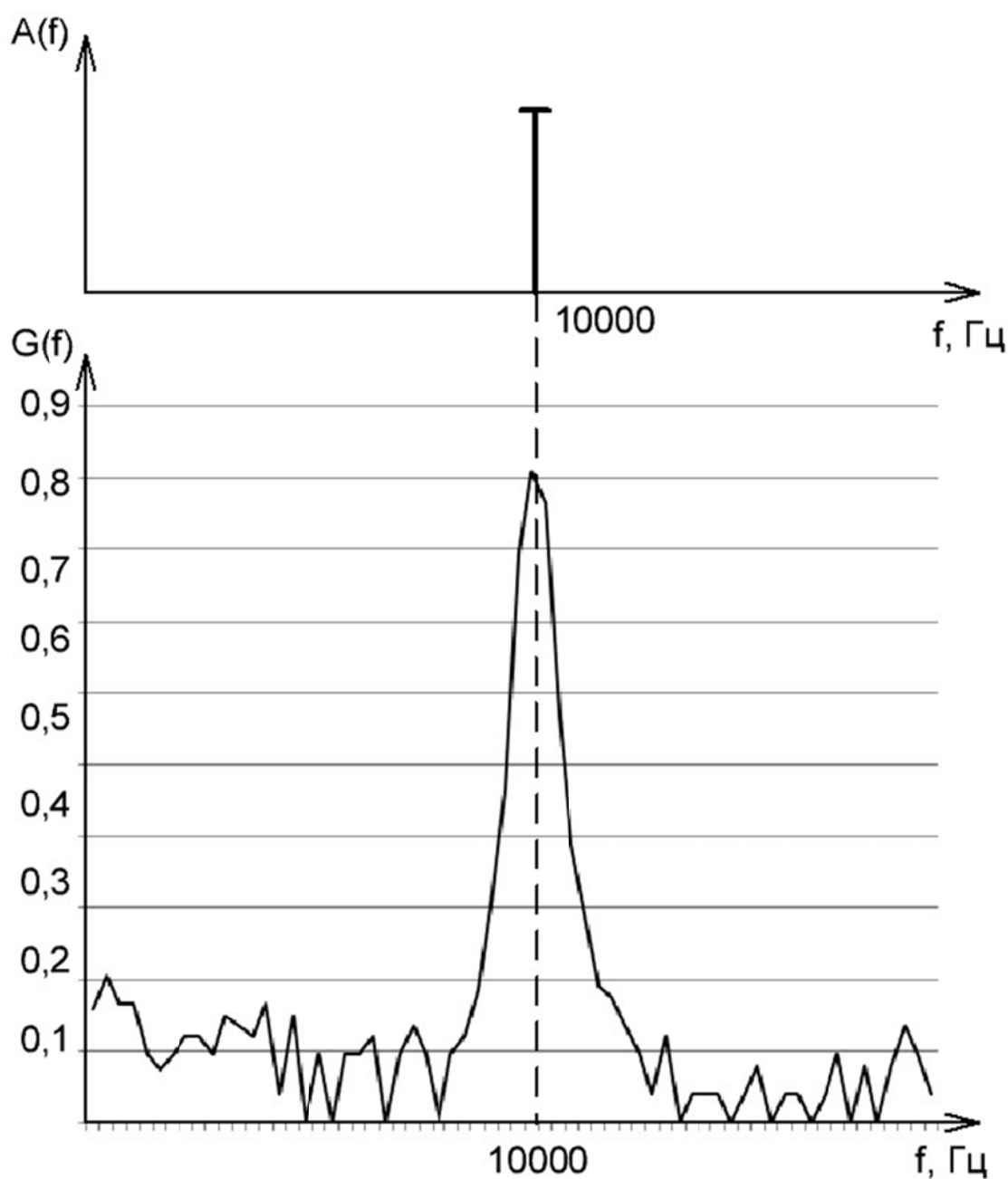


Рис. 2. Работа системы с входным моносигналом 10 кГц

Однако реальный акустический шум тормозной системы имеет более сложный спектральный состав и представляет собой совокупность звуковых колебаний с различной частотой и амплитудой. Усложняем задачу, моделируем ситуацию с входным сигналом в виде смеси гармонических частот, например, 100 и 18000 Гц.

Результат математической обработки такого сигнала с использованием быстрого преобразования Фурье представлен на рис. 3. Наблюдаются два отчетливых экстремума полученной функции спектральной плотности сигнала $G(f)$ на участках, соответствующих двум частотам гармонических составляющих входного сигнала 0,1 и 18 кГц.

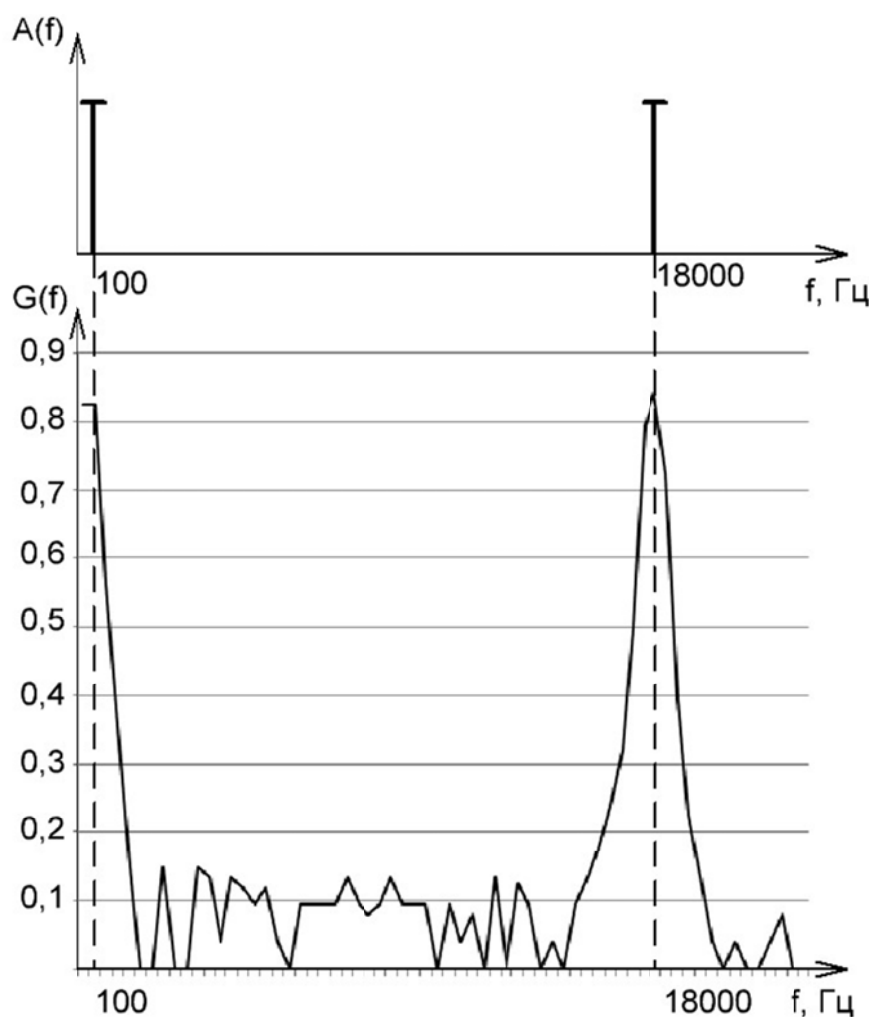


Рис. 3. Работа системы входным сигналом в виде смеси гармонических сигналов 100 и 18000 Гц

Выводы. По результатам проведенного имитационного моделирования работы представленной системы можно сделать вывод, система работоспособна и может быть использована для инструментального обеспечения экспериментальных исследований спектрального состава шумов, создаваемых подвижным составом железнодорожного транспорта.

Литература

1. Гончаренко, Б. И. Акустическое загрязнение городских территорий железнодорожным транспортом / Б. И. Гончаренко // Мир измерений. – 2010. – № 4. – С. 6-13.
2. Osenin Y. I., Malakhov O. V., Malakhova V. V., Chesnokov A.V. Regulation of the frictional characteristics disc brake // The International Conference BALTTTRIB'2019, Vytautas Magnus University, Akademija, Kaunas, Lithuania, 14-16 November 2019.
3. Стенд для исследования характеристик взаимодействия элементов трения дискового тормоза / Ю. В. Кривошея, В. В. Соснов, О. В. Малахов, В. В. Малахова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 1(77). – С. 83-88.
4. Меркушева, А. В. Аналитические формы обработки сигналов в информационно-измерительных

системах на основе обобщенной модификации преобразования Фурье / А. В. Меркушева // Научное приборостроение. – 2005. – Т. 15. – № 4. – С. 3-17.

5. Поздняков, А. Д. Анализ возможностей вычислительного метода определения девиации частоты сигнала на основе преобразований Гильберта и Фурье / А. Д. Поздняков, В. А. Поздняков, Д. С. Коробов // Известия Института инженерной физики. – 2010. – № 1 (15). – С. 33-37.

6. Wiener N. Hermit polynomials and Fourier analysis // Journal of Mathematical Physics MIT. 1929. V. 8. P. 70-73.

References

1. Goncharenko, B. I. Acoustic pollution of urban areas by railway transport / B. I. Goncharenko // The world of measurements. – 2010. – No. 4. – P. 6-13.
2. Osenin Y. I., Malakhov O. V., Malakhova V. V., Chesnokov A.V. Regulation of the frictional characteristics disc brake // The International Conference BALTTTRIB'2019, Vytautas Magnus University, Akademija, Kaunas, Lithuania, 14-16 November 2019.
3. Stand for research of characteristics of interaction of elements of friction of a disk brake / Yu. V. Krivosheya, V. V. Sosnov, O. V. Malakhov, V. V. Malakhova // Bulletin of the Rostov State University of Railway Transport. – 2020. – № 1 (77). – P. 83-88.
4. Merkusheva, A.V. Analytical forms of signal processing in information and measurement systems based on

a generalized modification of the Fourier transform / A. V. Merkusheva // Nauchnoe priborostroenie. – 2005. – Vol. 15. – No. 4. – P. 3-17.

5. Pozdnyakov, A. D., Pozdnyakov V.A., Korobov D. S. Analysis of the possibilities of a computational method for determining the deviation of the signal frequency based on the Hilbert and Fourier transforms. – 2010. – № 1 (15). – P. 33-37.

6. Wiener N. Hermit polynomials and Fourier analysis // Journal of Mathematical Physics MIT. 1929. V. 8. P. 70-73.

Nechayev G.I., Malakhova V.V.

DEVELOPMENT OF TOOLS TO SUPPORT EXPERIMENTAL STUDIES OF THE SPECTRAL COMPOSITION OF NOISE GENERATED BY RAILWAY ROLLING STOCK

The article is devoted to the actual topic of developing software and hardware for experimental studies of the spectral composition of noise generated by railway rolling stock. The software and hardware implementation of the method for determining the spectral composition of acoustic noise generated by disc brakes of rolling stock during braking is described.

Key words: acoustic pollution, disc brake, microcontroller, signal processing, spectral composition, Fourier transform.

Нечаев Григорий Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Nechayev Grigoriy, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Transport Technologies» Department of State Educational Es-tablishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Малахова Виктория Владимировна, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: malakhova_viktoriya84@mail.ru

Malakhova Viktoriya, senior lecturer of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Панков Андрей Александрович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 14.05.2021

УДК 656.073.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТАМОЖЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ТЕРМИНАЛОВ КАК ЧАСТИ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНО-ТАМОЖЕННОГО КОМПЛЕКСА ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

Нечаев Г.И., Нечаев Д.П., Афанасьевский Ю.Н.

STUDY OF THE OPTIMAL LOCATIONS OF CUSTOMS AND LOGISTICS TERMINALS AS PART OF THE LOGISTICS TRANSPORT AND CUSTOMS COMPLEX OF THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC

Nechaev G.I., Nechaev D.P., Afanasyevsky Yu.N.

В статье проанализированы применяемые в Луганской Народной Республике схемы направления материальных потоков от пограничных переходов к местам таможенного оформления и в обратном направлении в контексте их актуальности и соответствия социально-экономическим условиям развития ЛНР на современном этапе.

Проведено исследование наиболее оптимальных мест расположения таких элементов логистического транспортно-таможенного комплекса ЛНР, как таможенно-логистические терминалы. Дана характеристика дорожно-транспортной инфраструктуры и обозначены проблемные вопросы, решение которых позволит повысить транспортный потенциал региона размещения таможенно-логистических терминалов и в целом транзитный потенциал Республики.

В заключение делается вывод, что создание таможенно-логистических терминалов является важнейшей задачей не только с позиций таможенного оформления и таможенного контроля, но и в рамках развития территорий и формирования позитивного имиджа Луганской Народной Республики.

Ключевые слова: дорожно-транспортная инфраструктура, материальные потоки, транспортный потенциал, таможенно-логистический терминал, социально-экономическое развитие.

Введение. Система таможенного оформления товаров в Луганской Народной Республике, как и в Российской Федерации, ориентирована на осуществление большинства таможенных операций таможенными органами, расположенными, как правило, в городах, являющихся транспортными узлами [1].

Рост внешнеторгового оборота Луганской Народной Республики с каждым годом усиливает неравномерность инфраструктурного развития между внутренними и приграничными районами, заостряет проблему чрезмерной транспортной

нагрузки на крупные города. Зачастую материальные потоки ввезённых и выпущенных в свободное обращение товаров направлены навстречу друг другу.

Выход из данной ситуации предлагает Концепция таможенного оформления и контроля в местах, приближенных к государственной границе, принятая 29 августа 2008 года на Коллегии ФТС РФ [3], согласно которой решить проблему чрезмерной транспортной нагрузки на крупные города может развитие транспортно-логистической инфраструктуры в крупных транспортных узлах, за пределами городов с одновременным перераспределением таможенных операций между таможенными органами внутри и в приграничных районах, развитием таможенно-логистической инфраструктуры преимущественно в местах, приближенных к государственной границе.

Развитие таможенной инфраструктуры тесно связано с развитием транспортных систем, транспортно-логистической, банковской и социальной инфраструктуры.

Важную роль для инфраструктурного развития приграничных районов играет партнерство государства и частного бизнеса, требующее дальнейшего развития законодательной базы.

При этом целесообразно сохранить действующий порядок таможенного оформления и таможенного контроля в отношении товаров, таможенное оформление которых осуществляется в местах, максимально приближенных к местонахождению получателей или их потребителей и производителей:

- сырья, ввозимого российскими промышленными предприятиями, для обеспечения бесперебойного их функционирования с учётом непрерывного технологического цикла;
- экспресс-грузов;
- культурных ценностей;

– товаров, перемещаемых в рамках инвестиционных проектов, реализуемых при государственной поддержке, и товаров, перемещаемых в адрес участников внешнеэкономической деятельности, в отношении которых установлены специальные упрощённые процедуры таможенного оформления;

– драгоценных металлов и драгоценных камней, а также делящихся и радиоактивных материалов, ядохимикатов, взрывчатых веществ;

– товаров, перемещаемых через таможенную границу Луганской Народной Республики физическими лицами для личного пользования в несопровождаемом багаже, а также пересылаемых в международных почтовых отправлениях;

– товаров, в отношении которых устанавливаются особые таможенные режимы – переработка на таможенной территории, переработка для внутреннего потребления, временный ввоз (в том числе на выставки);

– товаров, ввозимых в качестве гуманитарной и технической помощи, а также для предупреждения и ликвидации стихийных бедствий и иных чрезвычайных ситуаций.

Проблема отсутствия в приграничных районах Республики квалифицированных специалистов актуальна как для участников внешнеэкономической деятельности, так и для государственных контрольных органов. Привлечение в приграничные районы квалифицированных кадров, а также их подготовка и переподготовка сопряжены с необходимостью решения комплекса вопросов социального обеспечения. Потребуется бюджетное финансирование социальной инфраструктуры, подготовки и переподготовки кадров таможенных органов в местах, приближенных к государственной границе Луганской Народной Республики, закрепление на законодательном уровне стимулов для привлечения в таможенные органы, расположенные в приграничных районах, квалифицированных специалистов из таможенных органов, расположенных внутри Республики.

Анализ транспортной инфраструктуры Луганской Народной Республики применительно к таможенно-логистической сфере. Луганская Народная Республика (ЛНР) имеет удобное географическое расположение и представляет собой регион, который на востоке и юго-востоке граничит с Российской Федерацией, а на западе и юго-западе – с Донецкой Народной Республикой.

Таможенные органы представлены четырьмя внутренними постами: «Луганск», «Свердловск», «Стаханов», «Антрацит», а также пятью приграничными постами: «Должанский», «Червонапартизанск», «Изварино», «Чернухино», «Красная Могила» (ж/д) [10].

Зоны деятельности таможенных постов:

1. **«Луганск»:** субъекты хозяйствования, зарегистрированные в Луганске, Краснодоне,

Краснодонском, Лутугинском и Станично-Луганском районах [4];

2. **«Стаханов»:** Перевальский район, Попаснянский район, Славяносербский район, город Алчевск, город Брянка, город Кировск, город Первомайск, город Стаханов [8, 9].

3. **«Антрацит»:** Красный Луч, Ровеньки, Антрацит и Антрацитовский район [5, 6];

4. **«Свердловск»:** Свердловск и Свердловский район [7].

На границе с Российской Федерацией в ЛНР расположены международные автомобильные пункты пропуска (МАПП): «Должанский», «Червонапартизанск», «Изварино».

Со стороны Донецкой Народной Республики на государственной границе ЛНР расположены таможенный пост «Чернухино» с отделами таможенного оформления (ОТО) «Чернухино-1» и «Фашевка» (ж/д), а также отдел таможенного оформления «Миусинск» таможенного поста «Антрацит».

Схема размещения таможенных органов ЛНР изображена на рис. 1.

Со стороны г. Дебальцево (ДНР) грузы под таможенным контролем перемещаются через таможенный пост «Чернухино», расположенный в непосредственной близости от н.п. Чернухино (ЛНР) на трассе М-04, по направлению в сторону г. Алчевск, г. Стаханов, г. Луганск и в обратном направлении. Расстояние от таможенного поста «Чернухино» до г. Луганска на данном участке трассы составляет 72 км (рис. 1).

В сторону г. Антрацит и г. Красный Луч грузы перемещаются от г. Дебальцево (ДНР) через ОТО «Чернухино-1» таможенного поста «Чернухино», расположенного на участке трассы М-03 (Е-50) в 50 км от таможенного поста «Антрацит» (рис. 1).

Вблизи государственной границы с Луганской Народной Республикой на территории Российской Федерации расположены два таможенно-логистических терминала:

1. ТЛТ «Новошахтинский»: Ростовская область, г. Новошахтинск;

2. ТЛТ «Донецкий»: Ростовская область, г. Каменск-Шахтинский.

3. Ближайшими пограничными переходами являются МАПП «Новошахтинск» (РФ) – МАПП «Должанский» (ЛНР) и МАПП «Донецк» (РФ) – МАПП «Изварино» (ЛНР).

4. Через МАПП «Должанский» проходит международная трасса М-03 (Е-50) «Киев – Харьков – Должанское», которая проходит по южной части ЛНР и пересекает ее территорию с запада на восток, соединяя переходы на границе с Донецкой Народной Республикой и Россией (рис. 1).

5. Так, со стороны н.п. Дебальцево (ДНР) на трассе М-04 расположен таможенный пост «Чернухино», а в непосредственной близости от пересечения трассы М-04 с трассой М-03 (Е-50) находится ОТО «Чернухино-1». С южной стороны

границы ДНР и ЛНР находится ОТО «Миусинск» таможенного поста «Антрацит», который расположен на автомобильной дороге Н-21,

соединяющей Донецк – Макеевку – Красный Луч – Луганск с выходом на трассу М-03 (Е-50) в районе г. Красный Луч (рис. 1).

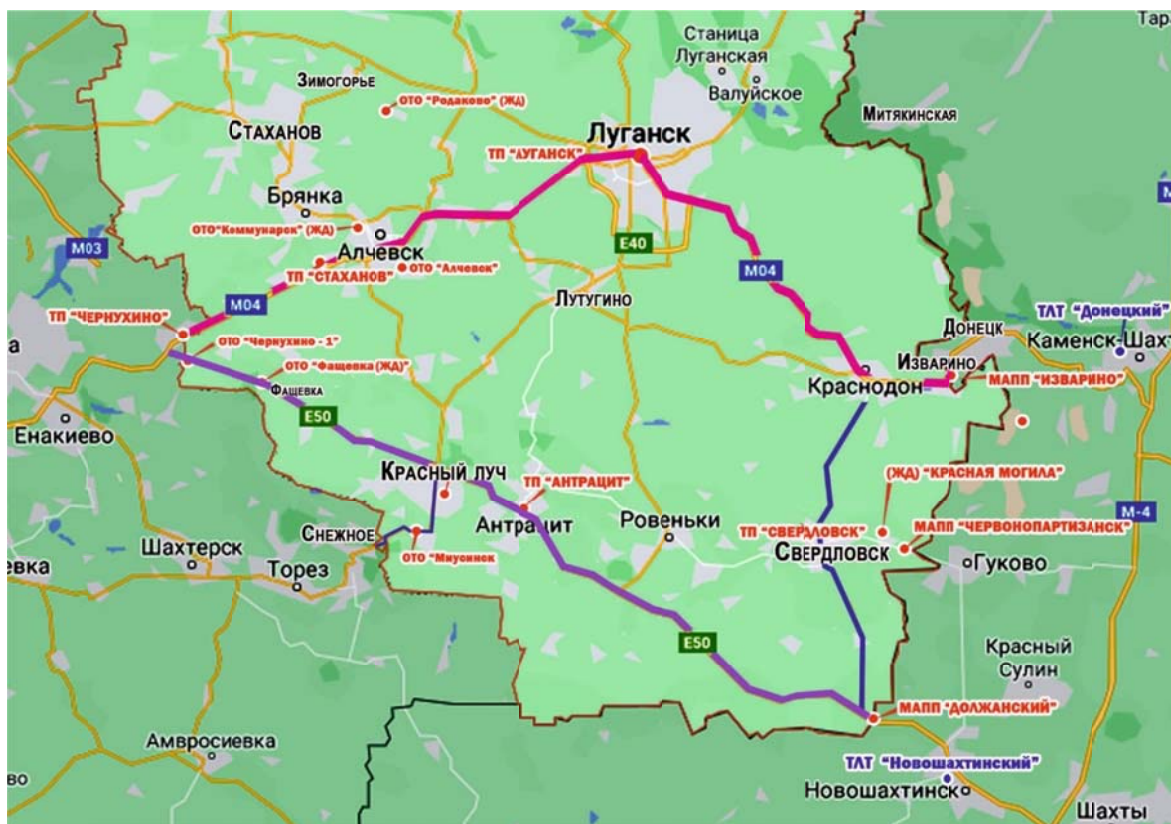


Рис. 1. Схема размещения таможенных органов ЛНР и основных автомагистралей

На современном этапе развития внешнеэкономической деятельности в ЛНР большая часть грузов перемещается автомобильным транспортом.

Основные материальные потоки ориентированы на пограничные переходы с Российской Федерацией – МАПП «Должанский» и МАПП «Изварино», а со стороны Донецкой Народной Республикой – на таможенный пост «Чернухино».

Наиболее загруженное направление перемещения грузов – трасса М-04 Знаменка – Луганск – Изварино и автодорога Т-13-05 Бирюково – Свердловск – до выхода на трассу М-04, по которым грузы от приграничных переходов МАПП «Должанский» и МАПП «Изварино» направляются для таможенного оформления по месту регистрации субъектов ВЭД во внутренние посты «Луганск», «Свердловск», «Стаханов», а также в обратном направлении (рис. 1).

С целью оптимизации товарных потоков и удобства субъектов ВЭД с мая 2021 года таможенный пост «Стаханов» перенесен в г. Алчевск [2].

Средняя нагрузка на таможенные посты по таможенному оформлению товаров представлена на диаграмме (рис. 2).

Как видно из диаграммы, основная нагрузка по таможенному оформлению товаров приходится на таможенные посты «Луганск» и «Стаханов», товары которые в основном поступают автомобильным транспортом по трассе М-04.

Товары, оформленные данными постами в режиме экспорта, также перемещаются по трассе М-04 в сторону пограничных переходов.

Таким образом, товары перемещаются во встречных направлениях по одному маршруту, при этом большая часть маршрута проходит по участкам трассы с двухполосным движением, затяжными спусками и подъемами, что оказывает негативное влияние на безопасность дорожного движения и состояние дорожного полотна.

Так, участок автодороги Т-13-05 Бирюково – Свердловск от МАПП «Должанский» до г. Свердловска составляет 27 км и представлен затяжным подъемом (спуском) в районе н.п. Бирюково, что в зимний период является проблемой, связанной с необходимостью преодоления большегрузным автомобильным транспортом затяжного подъема и спуска, и создает предпосылки к ДТП.

Вторым по загрузке направлением материальных потоков является участок трассы М-03 (Е-50) от МАПП «Должанский» до г. Антрацит,

где располагается таможенный пост «Антрацит», в зону деятельности которого входит весь Антрацитовский район, включая г. Красный Луч (Хрустальный).

ТАМОЖЕННЫЕ ОФОРМЛЕНИЯ ПО ПОСТАМ
ЗА ЯНВАРЬ-МАРТ 2021 ГОДА



Рис. 2. Средняя нагрузка по таможенным постам

Через МАПП «Изварино» проходит шоссе М04 – это международная автомагистраль, соединяющая Знаменку (Украина) с Краснодоном на границе с Россией, где она продолжается в Россию под обозначением А260.

Таким образом, основные транспортные артерии ЛНР представляют собой международные магистрали, пересекающие всю территорию Республики с запада на восток и позволяющие организовывать материальные потоки в соответствии с концепцией развития Республики.

Этот факт свидетельствует о возможности развития в том числе транзитного потенциала региона, одним из условий которого является развитие транспортной инфраструктуры. В этом аспекте для стимулирования развития внешнеэкономической деятельности, в частности, автомобильных перевозок, необходимо стимулирование и оптимизация деятельности такого элемента транспортной инфраструктуры, как таможенно-логистический терминал (ТЛТ), который представляет собой комплекс складов и территорий, объединенных в единое целое, в пределах которого осуществляются операции, связанные с таможенным декларированием товаров и транспортных средств, их хранением, распределением, транспортировкой, а также иные сопутствующие услуги.

Таким образом, инфраструктурные возможности транспортной сети юга ЛНР необходимо рассматривать с позиции логистики и возможности размещения в данном районе транспортно-логистического терминала, а также

оптимизации маршрутов движения транспортных средств.

Возможные места размещения таможенно-логистических терминалов. Таможенно-логистический терминал в соответствии с Концепцией таможенного оформления и таможенного контроля товаров в местах, приближенных к государственной границе, должен находиться в непосредственной близости к государственной границе (до 30 км), около крупных транспортных узлов и за пределами крупных городов.

С учетом анализа транспортно-таможенной инфраструктуры региона могут быть рассмотрены следующие места возможного размещения таможенно-логистических терминалов.

На востоке Республики таким критериям может соответствовать район г. Краснодон, где пересекаются магистрали, идущие от приграничных переходов «Должанский», «Изварино», «Червонопартизанск» к местам таможенного оформления и нахождения основных получателей товаров в г. Луганск, г. Алчевск, г. Стаханов, г. Брянка и др.

Близость г. Краснодон к границе с Российской Федерацией, удобное территориальное расположение вдоль автомагистрали, наличие дополнительных транспортных развязок, соединяющих город Краснодон с другими городами Республики, свидетельствует о возможности рассмотрения данного района как потенциального места размещения ТЛТ.

На севере Республики таким районом можно рассматривать территорию на въезде в г. Луганск на участке трассы М-04 «Изварино – Луганск». Близость к месту нахождения большей части зарегистрированных субъектов ВЭД, наличие необходимого кадрового потенциала таможенных органов, разветвленная дорожная инфраструктура также дают возможность для размещения ТЛТ.

На юге ЛНР ближайшими к границе городами, расположенными вдоль крупной автомагистрали, являются г. Антрацит и г. Красный Луч (75 км от МАПП «Должанский»).

Наличие в городах Красный Луч и Антрацит большого числа автотранспортных предприятий различной формы собственности, оказывающих услуги по международной перевозке грузов, создает благоприятные условия для размещения одного из ТЛТ именно в Антрацитовском районе ЛНР.

Также недалеко от г. Красный Луч расположен таможенный пост «Антрацит», зоной деятельности которого является весь Антрацитовский район (включая г. Красный Луч), что в свою очередь может способствовать кадровому таможенному обеспечению создаваемого ТЛТ.

Через г. Красный Луч проходит автодорога Н-21 (Донецк – Луганск), пересекающая трассу М-03 (Дебальцево – Должанское).

В то же время негативным фактором является состояние дорожно-транспортной инфраструктуры

данного региона, в частности, в сетях подъездов к ТЛТ, требующие улучшения.

Учитывая все выше перечисленные факторы, местом для размещения ТЛТ в южной части ЛНР можно считать район г. Красный Луч.

Таким образом, действующая транспортно-таможенная инфраструктура региона дает потенциальную возможность рассмотрения нескольких вариантов размещения таможенно-логистического терминала на территории Республики.

В то же время оптимальное место расположения ТЛТ является предметом дополнительного исследования.

Выводы. В статье исследована структура расстановки пограничных переходов и мест таможенного оформления товаров, а также проведен анализ материальных потоков по объему, составу и направлениям.

Рассмотрена структура и состояние дорожной сети и сделан вывод о несоответствии конкретных ее участков современным требованиям безопасности.

Проанализирована схема грузопотоков в различных направлениях, при этом установлена неоптимальная технология материальных потоков через пункты перехода к местам обработки, которая нуждается в совершенствовании и оптимизации.

Сделан вывод о том, что создание ТЛТ на территории Республики отвечает современным тенденциям по интегрированию экономики ЛНР в экономическое пространство Российской Федерации и соответствует целям Концепции таможенного оформления и таможенного контроля в местах, приближенных к государственной границе, а именно: защите экономических интересов ЛНР и ее товаропроизводителей, оптимизации процессов таможенного оформления и совершенствования таможенного администрирования, развитию приграничных регионов страны, в том числе созданию новых рабочих мест, развитию сферы услуг и транспортного сообщения, снижению нагрузок на крупные города.

Л и т е р а т у р а

1. Нечаев Г.И. Теоретические основы развития территориально-экономического и транзитного потенциала транспортной системы юго-востока Украины и города Свердловска [монография] / Г.И. Нечаев, Б.П. Гуцало, А.И. Шмальц, М.Э. Слободянюк. – Луганск: ВУНУ им. В. Даля, 2012.

2. Новости ГТК ЛНР [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://gtklnr.su>.

3. Приказ ФТС РФ от 01.10.2008 N 1221 "О решении коллегии ФТС России от 29 августа 2008 года "О проекте Концепции таможенного оформления и таможенного контроля товаров в местах, приближенных к государственной границе Российской Федерации"[Электронный ресурс] Режим доступа <https://customs.gov.ru/>.

4. Приказ ГТК Луганской Народной Республики от 03.02.2015 № 15 «О создании таможенного поста «Луганск»

Государственного таможенного комитета Луганской Народной Республики». [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://gtklnr.su>.

5. Приказ ГТК Луганской Народной Республики от 03.02.2015 № 15 «О создании таможенного поста «Красный Луч» Государственного таможенного комитета Луганской Народной Республики». [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://gtklnr.su>.

6. Приказ ГТК Луганской Народной Республики от 02.07.2015 № 148 «О внесении изменений в приказ Государственного таможенного комитета Луганской Народной Республики». [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://gtklnr.su>.

7. Приказ ГТК Луганской Народной Республики от 15.05.2015 № 113 «О создании таможенного поста «Свердловск» Государственного таможенного комитета Луганской Народной Республики». [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://gtklnr.su>.

8. Приказ ГТК Луганской Народной Республики от 28.02.2017 № 15 «Об открытии таможенного поста «Стаханов» Государственного таможенного комитета Луганской Народной Республики». [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://gtklnr.su>.

9. Приказ ГТК Луганской Народной Республики от 30.04.2021 № 202 «О создании таможенного поста «Красный Луч» Государственного таможенного комитета Луганской Народной Республики». [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://gtklnr.su>.

10. Приказ ГТК Луганской Народной Республики от 09.04.2020 № 121 «Об утверждении Типовых положений о таможенных постах Государственного таможенного комитета Луганской Народной Республики» [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://gtklnr.su>.

R e f e r e n c e s

1. Nechaev G.I. Theoretical foundations for the development of the territorial-economic and transit potential of the transport system in the south-east of Ukraine and the city of Sverdlovsk [monograph] / G.I. Nechaev, B.P. Gutsalo, A.I. Schmalts, M.E. Slobodyanyuk. – Lugansk: VUNU them. V. Dahl, 2012.

2. News of the State Customs Committee of the LPR [Electronic resource] Access mode: <http://gtklnr.su>.

3. Order of the Federal Customs Service of the Russian Federation dated 01.10.2008 N 1221 "On the decision of the board of the Federal Customs Service of Russia dated August 29, 2008" On the draft Concept of customs clearance and customs control of goods in places close to the state border of the Russian Federation "[Electronic resource] Access mode: <https://customs.gov.ru/>.

4. Order of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic of 03.02.2015 No. 15 "On the establishment of the customs post" Lugansk "of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic". [Electronic resource] Access mode: <http://gtklnr.su>.

5. Order of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic of 03.02.2015 No. 15 "On the creation of the customs post" Red Ray "of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic". [Electronic resource] Access mode: <http://gtklnr.su>.

6. Order of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic of 02.07.2015 No. 148 "On amendments to the order of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic". [Electronic resource] Access mode: <http://gtklnr.su>.

7. Order of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic of 05/15/2015 No. 113 "On the

establishment of the customs post" Sverdlovsk "of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic". [Electronic resource] Access mode: <http://gtklr.su>

8. Order of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic of February 28, 2017 No. 15 "On the opening of the customs post" Stakhanov "of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic". [Electronic resource] Access mode: <http://gtklr.su>.

9. Order of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic of April 30, 2021 No. 202 "On the establishment of the customs post" Red Luch "of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic". [Electronic resource] Access mode: <http://gtklr.su>.

10. Order of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic of 09.04.2020 No. 121 "On Approval of the Model Regulations on Customs Posts of the State Customs Committee of the Lugansk People's Republic" [Electronic resource] Access mode: <http://gtklr.su>.

Nechaev G.I., Nechaev D.P., Afanasyevsky Yu.N.
STUDY OF THE OPTIMAL LOCATIONS OF CUSTOMS AND LOGISTICS TERMINALS AS PART OF THE LOGISTICS TRANSPORT AND CUSTOMS COMPLEX OF THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC

The article analyzes the schemes used in the Luhansk People's Republic for the direction of material flows from border crossings to places of customs clearance and in the opposite direction in the context of their relevance and compliance with the socio-economic conditions of the LPR development at the present stage.

A study of the most optimal locations for such elements of the logistics transport and customs complex of the LPR as customs and logistics terminals has been carried out. A characteristic of the road transport infrastructure is given and problematic issues are identified, the solution of which will increase the transport potential of the region where customs and logistics terminals are located and, in general, the transit potential of the Republic.

In conclusion, it is concluded that the creation of customs and logistics terminals is a major task not only from the standpoint of customs clearance and customs control, but also within the framework of the development of territories and the formation of a positive image of the Lugansk People's Republic.

Key words: *road transport infrastructure, material flows, transport potential, customs and logistics terminal, socio-economic development.*

Нечаев Григорий Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Nechaev Grigoriy, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Нечаев Дмитрий Петрович, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: ndp1972@bk.ru

Nechaev Dmitriy, senior lecturer of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: ndp1972@bk.ru

Афанасьевский Юрий Николаевич, аспирант кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: afana20011@mail.ru

Afanasyevsky Yuri, graduate student of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: afana20011@mail.ru

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 26.04.2021

УДК 640.4

ИССЛЕДОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД

Нечаев Г.И., Соколовский А.Я., Соколовская Е.А.

RESEARCH OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF HIGH MINERALIZED WATER CONDITIONING

Nechayev G.I., Sokolovsky A.Y., Sokolovskaya E.A.

В статье выполнен анализ научно-технических разработок в области опреснения высокоминерализованных вод для хозяйственно-бытовых и питьевых целей в условиях Донбасса.

Ключевые слова: шахтные воды, питьевая вода, деминерализация, водоподготовка, обратный осмос, реминерализация.

Введение. За 200-летнюю историю интенсивной добычи угля на довольно небольшой территории – около 15 тыс. км² из недр Донбасса извлечено 21 млрд т пород (в т. ч. порядка 15-17 млрд т товарного угля). Образовавшиеся пустоты (выработки) заполнились обвалившейся породой. В результате чего на огромной площади порядка 8000 км² произошло проседание земной поверхности. По некоторым источникам проседание в среднем составляет до 1,5-2,0 м [23]. И это не только проседание, но и смещение и деформации породного массива. Нарушились гидроупорные слои в результате чего увеличилась проницаемость деформированных пластов. В свою очередь существенно увеличилась интенсивность фильтрации поверхностных вод в обводные пласты, а из них в шахтные выработки на глубине до 1500-1700 м.

Сброс шахтных вод составляет 500-600 млн м³. Из-за своего состава эти воды не могут быть использованы ни для сельскохозяйственного, ни тем более для питьевого водоснабжения [7].

В принципе вода, которую качают насосы шахтных водоотливных установок, находящихся вблизи рек и водоёмов (в т. ч. пруды-отстойники шахтных вод), это вода из этих же водоёмов, проделавшая свой путь от поверхности земли в шахтные выработки, совершая свой кругооборот практически по замкнутому циклу.

Известно, что закрытие шахт не приводит к сокращению объёмов отведения шахтных вод.

Кроме того, ситуация усугубляется тем, что в последнее время водоотлив на выработках в Донбассе значительно сократился. Отработанные

шахтные пласты затапливаются, теряют свою прочность, проседают и выдавливают шахтные воды на поверхность. Это приводит к повсеместному подъёму шахтных вод.

Следствием шахтного водообмена является выравнивание гидрохимических условий за счёт смешивания поверхностных и шахтных вод. За этим следует пространственное развитие загрязнения подземной гидросферы.

Это все происходит на фоне острого дефицита питьевой воды.

Имеющиеся источники водоснабжения Донбасса не обеспечивают нормативную потребность в питьевой воде. Увеличение подачи воды за счёт местных водоисточников из-за ограниченных запасов питьевой воды в подземных горизонтах довольно проблематично.

В нашем регионе сложилась двойственная ситуация: регион страдает от дефицита питьевой воды, в то время как из подземных выработок в огромном количестве откачиваются шахтные воды, сброс которых оказывает негативное влияние на окружающую среду.

В настоящее время экономически наиболее целесообразно опреснение минерализованных шахтных вод проводить с использованием баромембран-ных технологий. Учитывая это, необходимо проанализировать состояние новейших разработок и технико-экономических показателей баромембранных технологий.

Современным решением части указанной проблемы является кондиционирование и использование шахтных вод для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Цель статьи – исследование технологии получения питьевой воды путем кондиционирования шахтной и усовершенствование участков процесса превращения шахтной воды (участок очистки шахтной воды на фильтрах и участок опреснения) в конечный продукт в цепи логистической системы перемещения грузовых потоков исходного продукта в конечный.

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.

Вопросами комплексной переработки шахтных вод занимались С.П. Высоцкий, Н.Н. Гусев, С.С. Гребенкин, В.И. Демкин, Г.А. Ивлева, В.К. Костенко, В.В. Сащенко, В.М. Щадов, З.Л. Филькенштейн и др.

Анализ результатов фундаментальных исследований показал, что без использования мембранной науки и мембранных процессов разделения реализация многих критических технологий требует больших материальных и временных затрат. Современные мембранные процессы отличаются высокой селективностью, низкими энергозатратами, простотой аппаратного оформления, служат основой создания безотходных технологий, способны «навести мост» через пропасть, разделяющую промышленность и чистоту окружающей среды. Они просто не могут иметь негативных последствий, поскольку «безреагентны», а точнее сказать, «малореагентны».

Впервые мембранный процесс разделения осуществил в 1748 г. французский аббат Жан Антуан Ноле. У истоков науки о мембранах стояли также немецкие физиологи и ботаники. Затем эстафету подхватили физико-химики, среди которых следует отметить В. Нернста (электрохимические аспекты мембранных процессов), В. Оствальда (роль мембран в биоэлектрических процессах), Хванга С-Т., Каммермейера К. (мембранные процессы разделения) и Я. Вант-Гоффа (теория осмотических процессов) [1]. Подробно история мембранной науки и роль выдающихся ученых, лауреатов Нобелевской премии в ее создании и развитии рассмотрены в работах [1, 12, 17].

Следует особо отметить серьезные возможности мембранных процессов в технологическом обновлении промышленности, особенно актуальном в период преодоления последствий кризисных явлений (к примеру, известный всем «большой скачок» электронной промышленности в Японии во многом был достигнут благодаря широкомасштабному применению мембранных технологий). Именно поэтому, не случайно, мембранные технологии включены в перечень приоритетных для науки направлений, в которых российские ученые опережают мировой уровень (критическая технология Российской Федерации «Мембраны») [13]. В области мембранных технологий активно ведут фундаментальные исследования коллективы, созданные исследователями с мировым именем: В.П. Дубягой, Ю.И. Дытнерским, Ю.Э. Киршем,

Н.А. Платэ, С.Ф. Тимашевым, В.А. Шапошником, Л.Г. Колзуновой и др.

Попытки решить проблему шахтных вод предпринимаются давно, но пока на сегодняшний день не существует ни одной промышленной установки подобного рода.

Все сводится к банальной механической и коагуляционной очистке [2].

Очищенные путем отстаивания в прудах-отстойниках от взвешенных веществ шахтные воды по балкам и оврагам сбрасываются в ближайшие поверхностные источники.

Для эффективности процесса очистки применяются химические способы обработки воды с использованием реагентов.

Материалы и результаты исследования.

Шахтные воды представляют собой смесь вод подземных горизонтов, встречающихся на их пути по ходу увеличения глубины выработки. Подземные воды, попадая в выработки шахт, взаимодействуют с обнаженными породами, рудничной атмосферой, креплением и оборудованием. Под воздействием указанных факторов превращаются в шахтные.

Опыт эксплуатации существующих шахт констатирует – средняя минерализация шахтных вод имеет тенденцию к возрастанию. Минерализация шахтных вод Донецкого бассейна в начале 50-х годов не превышала 1,5-2,0 г/дм³. По мере увеличения глубины добычи угля минерализация шахтных вод увеличивалась до 4,0-5,0 г/дм³ в 1990 г [6].

В соответствии существующей классификации подземных вод (табл. 1) по степени минерализации шахтные воды угольных предприятий Луганской области распределяются таким образом [8]:

65% от общего числа – шахты с минерализацией воды до 1,0-3,0 г/дм³;

32% – шахты с минерализацией воды более 10,0 г/дм³;

3% – шахты с минерализацией воды более 10,0 г/дм³.

Таблица 1

Классификация подземных вод по степени минерализации

Воды	Минерализация, г/л
Пресные	до 1
Слабосоленоватые	1-3
Солоноватые	3-5
Сильносолоноватые	5-10
Солёные	10-25
Сильно солёные	25-50
Рассолы	свыше 50

Очистные сооружения действующие, на предприятиях угледобывающей отрасли, не предусмотрены для удаления из шахтных вод растворённых минеральных солей.

Сброс минерализованных шахтных вод оказывает губительное воздействие на окружающую среду.

На сегодняшний день основными методами опреснения являются [26]:

- дистилляция – испарение жидкости и ее последующее конденсирование;
- химическое удаление из воды катионов и анионов с помощью ионообменных смол;
- вымораживание – превращение морской воды в лед, механическое отделение пресной воды от рассола с последующим расплавлением льда;
- мембранный – обратный осмос (удаление из воды ионов солей через специальные мембраны) и электродиализ (удаление из воды ионов солей через анионо- и катионообменные мембраны под воздействием электрического тока).

Каждый метод имеет свою рациональную область применения, которая зависит от многих факторов и прежде всего от расхода и качества минерализованной воды, условий ее забора и транспортирования. Уровень современного развития опреснительной техники не позволяет назвать наиболее экономичный метод опреснения. По предварительным оценкам наилучшие перспективы имеются у обратного осмоса и дистилляционного метода – многоступенчатого выпаривания в вертикально-трубных и горизонтально-трубных плёночных аппаратах, в том числе с использованием

термической (пароструйной) и механической компрессии пара.

В настоящее время в мировой практике получили широкое распространение опреснительные установки различных типов. В общем количестве используемых способов опреснения составляют [27]:

- MSF (Multi Stage Flash – многоступенчатое мгновенное вскипание) – 55% мирового рынка;
- RO (Reverse Osmosis – обратный осмос) – 33%;
- MED (Multi Effect Distillation – многоступенчатая пленочная дистилляция) – 9%;
- остальные – 3%.

Мембранные методы разделения являются одним из самых перспективных.

Жизненная необходимость широкомасштабного внедрения мембранных процессов определяется многими факторами, и прежде всего их прямым влиянием на обеспечение национальной безопасности, решение наиболее острых социально-экономических проблем.

Несмотря на то что фильтрование, по сути, является мембранным методом, его исследовали раньше, чем формировался круг вопросов, составляющих науку о мембранах. Обычно в монографиях по мембранным методам разделения простое фильтрование не описывается.

На рис. 1 представлена классификация мембранных методов.

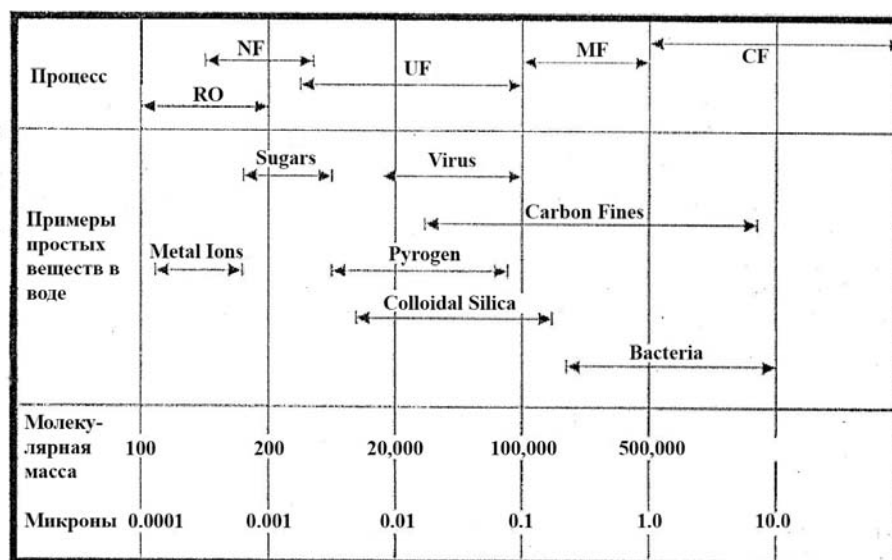


Рис. 1. Классификация мембранных методов фильтрации: CF – обычная фильтрация; MF – микрофильтрация; UF – ультрафильтрация; NF – нанофильтрация; RO – обратный осмос

Показано, что обычная фильтрация позволяет отделить от жидкости частицы с размером более 1 мкм. Для процесса используют давление до 2 атм. (~ 0,2 Мпа). Фильтрация позволяет отделять от растворов эритроциты, цветочную пыльцу, пепел, угольную пыль, простейшие организмы и др.

Для отделения от жидкости коллоидных или взвешенных микрочастиц и растворенных макромолекул размером более $0,1 \times 10^{-6}$ м Зигмонди предложил метод микрофильтрации [28]. Микрофильтры имеют меньшие размеры пор, чем обычные и поэтому требуется избыточное давление до 5 атм. Функциональная связь диаметра пор и

необходимого давления следует из капиллярной модели Хагена-Пуазейля, представляющей поры в виде цилиндров, проходящих через мембрану перпендикулярно её поверхностям.

Путем микрофльтрации удаляются частицы размером в диапазоне от 0,1 до 1 мкм. При этом взвешенные и большие коллоидные частицы остаются в концентрате, а макромолекулы и растворенные частицы проходят через мембрану. Данный метод также применяется для очистки воды от бактерий.

Главными областями применения микрофльтрации является получение стерильной воды, осветление и стабилизация вин.

Ультрафльтрация обеспечивает макромолекулярное разделение для частиц размером менее $0,1 \times 10^{-6}$ м и более 2×10^{-9} м. При использовании данного метода все растворимые соли проходят через мембрану, задерживаются только коллоидные частицы и большие органические молекулы. Рабочее давление, используемое в данном методе, составляет от 2 до 10 атм. В процессах ультрафльтрации часто используется периодический тупиковый метод фльтрации. Установки для ультрафльтрации способны отделить от растворов не только бактерии, но и вирусы [1]. Воду, пропущенную через ультрафилтраты, можно пить даже тогда, когда исходная вода биологически заражена.

Промежуточным между ультрафльтрацией и обратным осмосом методом является нанофльтрация (или низконапорный обратный осмос). В этом случае задерживаются частицы и растворенные молекулы размером менее 2×10^{-9} м. Для нанофльтрации требуется давление от 6 до 15 атм. При этом происходит задержание 20-98% растворимых солей. Соли, содержащие одновалентные ионы, задерживаются на 20-80%, а соли, имеющие в составе двухвалентные ионы, задерживаются на 90-98%.

Нанофльтрация применяется для очистки водных растворов от органических веществ и минеральных примесей на стадиях, предшествующих финишной очистке воды ионным обменом, т. е. используется вместо первой ступени ионного обмена.

Для отделения молекул или ионов Манигольд в 1929 г. предложил метод обратного осмоса. Понятие "обратный осмос" показывает обратимость естественного (прямого) осмоса. Последний характеризуется самопроизвольным переходом растворителя через полупроницаемую мембрану в раствор. Проиллюстрируем процессы прямого и обратного осмоса схемой, приведенной на рис. 2. Если чистую воду и водный раствор какого-либо неорганического вещества поместить в два отсека по обе стороны полупроницаемой мембраны (рис. 2, а), способной пропускать только молекулы H_2O , то в такой системе будет наблюдаться следующее.

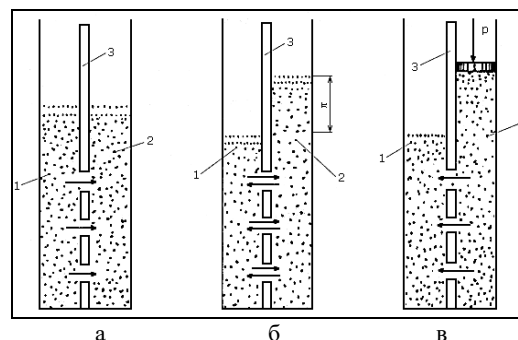


Рис. 2. Принципиальная схема прямого и обратного осмоса: а – начало осмотического переноса; б – равновесное состояние; в – обратный осмос; 1 – пресная вода; 2 – соленая вода; 3 – мембрана; p – осмотическое давление раствора

Из-за разности давления (концентрации) молекул H_2O в разных отсеках происходит переход молекул воды в объем с их меньшей концентрацией, т.е. в отсек солевого раствора, объем которого постепенно увеличивается, раствор разбавляется, разность давлений уменьшается, тормозя дальнейший перенос молекул H_2O . Естественно, что при определенном гидростатическом давлении наступит такой момент, когда уровни раствора в обеих камерах не будут изменяться. Установившееся гидростатическое давление определяется как осмотическое давление раствора (рис. 2, б) [25, 28].

В обратноосмотическом методе мембраны служат барьером как для растворимых солей и неорганических молекул, так и для органических молекул с молекулярной массой более 100. Этот метод используется для глубокой очистки и деминерализации воды. Области применения обратного осмоса разнообразны: для опреснения морской или солоноватой воды в питьевых целях, очистки сточных вод, подготовки воды для производства напитков и пищевых продуктов, подготовки воды для использования в медицинских целях, очистки питьевой воды и воды, используемой в производственных процессах. Также обратный осмос часто используется для производства ультрачистой воды для ее применения в медицинских целях и полупроводниковой промышленности.

Опыт эксплуатации первых промышленных опреснительных установок морской воды показал, что искусственное приготовление питьевой воды связано не только с опреснением морской воды, но и с кондиционированием питьевых качеств, т.е. приданием опресненной воде свойств, отвечающих гигиеническим требованиям на питьевую воду. Согласно общепринятым стандартам качества физиологически полноценная питьевая вода должна отвечать трем основным критериям [29]:

- обладать хорошими органолептическими свойствами;

- иметь безвредный для здоровья людей химический состав;
- быть безопасной в эпидемическом отношении.

Учитывая то, что опресненная морская вода не соответствует ГОСТам и санитарно-гигиеническим требованиям к воде питьевого качества по стабильности, общей минерализации, органолептическим показателям, содержанию кальция, магния, фтора, pH, основными задачами ее коррекционной обработки являются повышение общего солесодержания, обогащение воды гидрокарбонатом кальция (магния) и регулирование концентрации фтора [24].

Учитывая вышеизложенное, кондиционирование качества опресненных высокоминерализованных шахтных вод должно включать стадии коррекции солевого состава, адсорбционной очистки, стабилизации и обеззараживания [2].

В настоящее время разработаны и широко используются в мировой практике различные способы коррекции солевого состава дистиллята. Существующие способы условно можно группировать по трем основным направлениям:

- с добавлением высокоминерализованных природных вод;
- с растворением смесей минеральных солей;
- фильтрация подкисленной опресненной воды через минерализующие материалы (мраморная крошка, доломит, ракушечник, гипсо-магнезиальная композиция и др.).

Одним из наиболее дешевых способов реминерализации опресненной воды является добавка предварительно очищенной исходной минерализованной воды [16]. При этом предварительную очистку добавляемых вод осуществляют по различным схемам в зависимости от природы загрязняющего лимитирующего компонента. Классическая схема обработки морской воды в качестве солевой добавки включает процессы обеззараживания (хлорированием), фильтрования, сорбции в слое активированного угля (АУ) и постобеззараживания. Однако реминерализация опресненной морской воды дозированием осветленной, глубоко очищенной и обеззараженной исходной морской воды или рассола опреснительной установки приводит к получению воды хлоридно-сульфатного класса, нестабильной с повышенной коррозионной активностью, что требует ее дальнейшего кондиционирования с увеличением жесткости и щелочности, а также корректировки pH.

В практике приготовления питьевой опресненной воды также применяют способ растворения набора солей (CaCl_2 , NaHCO_3 , MgSO_4 и др.) [30].

Первоначальный путь реминерализации предполагал изготовление солевых таблеток или комплексов таблеток, загружаемых в фильтр в

расчете на определенный объем пропускаемой воды. Неэффективность рассмотренного способа минерализации определяется невозможностью обеспечения постоянного химического состава и постоянной буферности полученной воды вследствие зависимости процесса растворения солей от скорости фильтрования. Дело в том, что входящие в состав минерализующих таблеток соли характеризуются различными растворимостями и пропускаемый через фильтр дистиллят насыщается в первую очередь теми солями, значение растворимости которых наивысшее.

Общим недостатком технологий приготовления питьевой опресненной воды способами растворения солей является то, что данные технологии характеризуются высокими эксплуатационными расходами (расход солей) и пригодны главным образом для объектов с ограниченным водопотреблением.

Кроме того, питьевая вода, получаемая в ряде стран (Польша, Германия и др.) дозированием набора солей, как показал анализ, относится к хлоридно-сульфатному классу натриевой группы с недостатком биологически необходимых ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Наиболее широкое распространение в мировой практике получил способ коррекции солевого состава опресненной воды, основанный на фильтрации дистиллята, предварительно насыщенного диоксидом углерода (или предварительно подкисленного пермеата), через кальцийкарбонатсодержащие материалы с последующей коррекцией солевого состава дозировкой минерализованной воды [8]. В качестве загрузочных материалов фильтров для этих целей используют природные, модифицированные (активированные) природные, искусственные и комбинированные минерализующие материалы.

Широкий перечень таких материалов, разнообразие их состава и свойств позволяют производить коррекцию солевого состава опресненной воды индивидуально для каждого конкретного региона, исходя из качества исходной воды и в соответствии с существующими региональными требованиями к питьевой воде. Выбор определенного минерализующего материала целесообразно производить с учетом необходимости максимизации использования местных природных ресурсов, что в свою очередь обеспечит снижение эксплуатационных издержек на водоподготовку.

К природным материалам, потенциально пригодным для целей кондиционирования опресненной воды, относят (рис. 3) известняк (ракушечник, оолиты, пизолиты, травертины, туфы), доломит, магнезит, бентонитовые глины, различные цеолиты, антрациты, взятую вблизи источника минерализованной воды почву, кварц, шунгит (шунгизит), кремень, кораллы, серпентинит, турмалин, цитрин и др. [9].

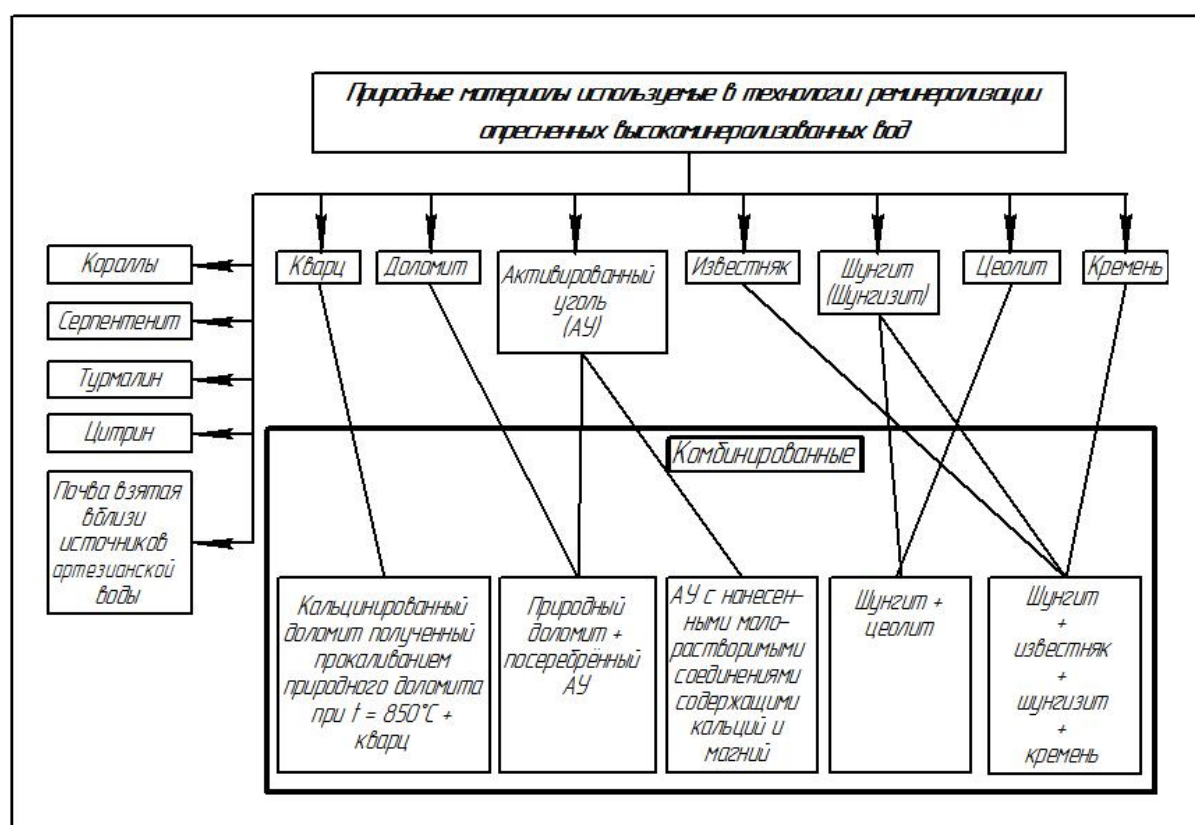


Рис. 3. Природные материалы, потенциально пригодные для коррекции солевого состава опресненных шахтных вод

Приведём основные характеристики местных природных материалов, потенциально пригодных для коррекции солевого состава опресненных шахтных вод.

Минерал кремний – один из минералов, в основе которого двуокись кремния (SiO_2), представляет собой природное минеральное образование черного, темно-серого (за счет примесей органических веществ), светло-серого, бурого, а также с красноватым или коричневатым оттенком, обусловленное присутствием красящих оксидов разных элементов. Кремний является постоянным компонентом химического состава природной воды. Небольшая концентрация содержания кремния в воде поясняется малой растворимостью горных пород. Основным источником соединений кремния в природных водах является процесс химического выветривания и растворения минералов содержащих кремний. Поэтому природные воды с концентрацией кремния $10\text{--}50 \text{ мг/дм}^3$ используются в лечебных целях [12].

Происхождение кремния – органогенное: т. е. кремний образовался при отмирании колоний живых организмов, сохраняя в своем составе их раковины и скелеты. Он зарождался в теплых водоемах мелового периода, в эпоху великих перемен, когда появились привычные нам формы жизни.

Поскольку существует множество разновидностей минералов (больше 700), но не все из них имеют активирующую способность.

Существует необходимость оценки пригодности минералов местных месторождений для активации воды.

По физико-химическим свойствам кремнистые породы представляют собой ценный природный агрегат, обладающий целым набором полезных свойств. Среди них: адсорбционная способность, высокая пористость, термостойкость, гидравлическая активность, химическая стойкость к кислотам и щелочам, а также способность к насыщению воды кремнием. Благодаря этому кремнистые породы применяют в качестве гидравлических добавок, адсорбентов, теплоизоляционных и полировальных материалов, наполнителей, фильтров, катализаторов, для производства изделий из керамики, в строительной промышленности, сельском хозяйстве, а также в литотерапии [12].

Для исследования были взяты природные камни SiO_2 из двух месторождений: Краматорский меловой карьер ЦШК «Пушка» и Белогоровский меловой карьер ОАО «Лисичанская сода».

Для сравнения были взяты результаты исследований химического состава кремния взятого из Валук [4, 5]. Результаты исследований приведены в табл. 2.

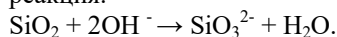
В чёрных кремнях содержания кремнезёма ($99,02\text{--}99,3$ массовые доли %), Al_2O_3 ($0,43\text{--}0,52$) и Fe_2O_3 ($0,08\text{--}0,1$) соответствуют содержаниям

аналогичных компонентов в кремнях из разных районов мира [9, 59 с.; 10, 56 с.].

Таблица 2
Химический состав кремней меловых месторождений (Донбасс), массовые доли, % [16]

Компоненты	Краматорский меловой карьер	Белогорский меловой карьер	Валуёвское месторождение	
	Кремень чёрного цвета	Кремень серого цвета	Кремень серого цвета	Кремень черного цвета
SiO ₂	99,2÷99,5	98,8÷99,0	97,96÷98,58	99,02÷99,3
Al ₂ O ₃	0,4÷0,51	0,63	0,55÷0,63	0,43÷0,52
Fe ₂ O ₃	0,07÷0,09	0,061÷0,065	0,063÷0,066	0,08÷0,1
MgO	не определялся	не определялся	0,011	0,01
CaO	0,3	не определялся	0,68÷1,41	0,2÷0,34
BaO	не определялся	не определялся	0,003÷0,02	0,003÷0,015
NiO	0,004÷0,005	0,002÷0,006	0,001÷0,005	0,005÷0,007
ZnO	0,002÷0,008	0,005÷0,009	0,005÷0,008	0,001÷0,009
SrO	не определялся	не определялся	0,006÷0,007	0,003÷0,012

Известно, что оксид кремния (SiO₂) обладает кислотным характером, следовательно должен проявлять химическую активность по отношению щелочам. В основе химического анализа лежит реакция.



Исследуемый черный кремень был измельчен на лабораторной щековой дробилке. Затем с помощью стандартного набора сит разделен на четыре фракции с размерами частиц: ≥ 5 ; 0,2÷0,5; 0,5÷3,0; 3,0÷5,0.

К каждой из указанных четырех фракций добавляли по 100 см³ раствора кальцинированной соды Na₂CO₃, перемешивали и оставляли на 2-3 часа. Полученный раствор фильтровали. Для анализа отбирали 10 см³ отфильтрованного раствора, добавляли молибдат аммония. Концентрацию перешедшего в раствор SiO₂ определяли по оптической плотности с помощью спектофотометра КФК-3. Результаты исследований занесены в табл. 3.

В результате проведенных исследований выявлено, что природный кремень взаимодействует с раствором соды [16].

Степень насыщенности зависит от размера частиц применяемого материала и находится в обратнопропорциональной зависимости от размера

частиц применяемого материала. Максимальное насыщение питьевой воды кремнием в растворе кальцинированной соды достигается при величине фракции кремня 0,2÷0,5 мм [14-19].

Таблица 3
Результаты определения оптической плотности исследуемых растворов

Номер пробы	Фракция, (мм)	D (оптическая плотность)	Концентрация активного кремния перешедшего в раствор
1	≥ 5	0,07	0,15
2	0,2÷0,5	0,7	1,3
3	0,5÷3,0	0,15	0,65
4	3,0÷5,0	0,28	0,56

Шунгит – уникальная порода, в состав которой входят *фуллерены*. Именно они придают шунгитам защитные и целебные свойства. Защищать живые организмы – главное свойство шунгита. Он способен выводить из организма человека шлаки, избирательно вводить макро- и микроэлементы. С помощью шунгита можно нормализовать минеральный баланс человека, справиться с хроническими болезнями, защитить себя от электромагнитного излучения [10, 11].

Шунгиты представляют собой особые породы, содержащие углерод, и относятся к природным минералам. Структура кристаллической решетки шунгита своеобразна. Ее костяк составляет углерод. Он образует пространственную матрицу, внутри которой расположены *силикаты* размером 1 мкм. Шунгит проявляет высокую способность к реакциям, каталитические свойства, электропроводность, высокую химическую стойкость. Это уникальный природный сорбент. Его формула SiC. Химический состав шунгитов приведен в табл. 4.

Таблица 4
Химический состав шунгитов Зажогинского месторождения (Карелия) (масс. %) [11]

№	Химический элемент, компонент	Содержание, масс. %
1	C	30,0
2	SiO ₂	57,0
3	TiO ₂	0,2
4	Al ₂ O ₃	4,0
5	FeO	0,6
6	Fe ₂ O ₃	1,49
7	MgO	1,2
8	MnO	0,15
9	CaO	0,3
10	Na ₂ O	0,2
11	K ₂ O	1,5
12	S	1,2
13	H ₂ O	1,7

Он может соединяться с любыми веществами. Шунгитовые частицы проявляют биполярность.

Широкие перспективы использованию шунгита в качестве фильтрующего материала открываются в водоподготовке и очистке воды. Природный шунгит, уступая активированному углю лишь низкой пористостью и внутренней поверхностью, как сорбент характеризуется рядом положительных характеристик [10, 11]:

- высокой адсорбционной способностью и технологичностью, характеризуемой малым сопротивлением напора жидкости;
- механической прочностью и малой истираемостью;
- коррозионной устойчивостью;
- способностью к сорбции многих веществ как органических (нефтепродуктов, бензола, фенола, пестицидов и др.) так и неорганических (хлор, аммиак, тяжелые металлы);
- каталитической активностью;
- сравнительно низкой стоимостью;
- экологической чистотой и безопасностью.

Эти вышеперечисленные качества позволяют использовать шунгит в качестве эффективного материала сорбционного фильтра для очистки сточных вод от органических и хлорорганических веществ (нефтепродуктов, пестицидов, фенолов, поверхностно-активных веществ, диоксинов и др.). Шунгит абсорбирует на своей поверхности до 95% загрязнителей, включая хлорорганические соединения, фенолы, диоксины, тяжелые металлы, радионуклиды и др., устраняет мутность и цветность воды и придает воде хорошие органолептические качества, одновременно насыщая ее микро- и макроэлементами (табл. 4). Адсорбционная активность шунгита по фенолу составляет 14 мг/г; по термолизым смолам – 20 мг/г; по нефтепродуктам – более 40 мг/г [22]. В модельных экспериментах показано, что в воде, содержащей тяжелые металлы (медь, кадмий, ртуть, свинец), бор, фенол и бензол в концентрациях, в десятки раз превышающих ПДК, после обработки шунгитом в стационарных либо динамических условиях на фильтровальных установках из шунгита содержание этих загрязнителей снижается ниже установленных нормативными документами уровней. При этом в воду не поступают каких-либо токсичных элементов из шунгитовых сорбентов

Шунгит можно использовать в подготовке питьевой воды в проточных системах любой производительности промышленного и бытового назначения, а также в колодцах с целью улучшения качественных характеристик воды и для придания воде полезных свойств.

Особенно эффективным и технологически оправданным является применение в фильтрующих системах смесей на основе шунгита с активированным углем или с цеолитом с возможной последующей регенерацией сорбентов [24, 25]. При добавлении в систему очистки к шунгиту других

природных сорбентов (кремь, доломит, глауконит) очищаемая вода обогащается до физиологически оптимальных значений кальцием, магнием, кремнием и гидрокарбонатами. Вода, пропущенная через шунгит или настоянная на шунгите, обладает общим оздоравливающим воздействием на организм, уменьшает раздражения кожи, зуд, аллергические сыпи, эффективна при вегето-сосудистой дистонии и заболеваниях суставов, при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, камнях в почках и других заболеваниях [26].

Доломит (назван в честь франц. геолога Деода де Доломьё) – минерал из класса карбонатов, а также горная порода, в основном состоящая из минерала. Химическая формула: $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$.

Доломит находится в отложениях осадочных пород – dolostone. Выделяют два вида вещества: истинный однородный по химическому составу карбонат магния кальция, а также доломитовый известняк с нерегулярными смесями в своей структуре магния и карбонатов кальция.

Доломит образуется в поверхностных условиях в результате частичного вытеснения и замещения известняков (CaCO_3) магнием, содержащимся в растворах (MgSO_4 , MgCl_2). Эти процессы, известные под названием метасоматоза или доломитизации, наблюдаются в морских бассейнах [3].

Залежи доломита находятся в Донбассе, известно Артемовское месторождение.

Известняк – горная известковая порода в природе встречается повсеместно, ее можно найти во многих речных или морских водоемах.

Химический состав чистых известняков близок к кальциту, где CaO 56% и CO_2 44%. Известняк в ряде случаев включает примеси глинистых минералов, доломита, кварца, реже гипса, пирита и органических остатков, которые определяют название известняков. Доломитизированный известняк содержит от 4 до 17% MgO , мергелистый известняк – от 6 до 21% $\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$. Известняк песчаный и кремнистый имеет примеси кварца, опала и халцедона. Принято отражать в названии известняков также преобладающее присутствие органогенных остатков (мшанковый, водорослевый) либо его структуру (кристаллический, ступчатый, детритусовый), или форму породообразующих частиц (оолитовый, брекчиевидный) [3].

Горная известковая порода в природе встречается повсеместно, ее можно найти во многих речных или морских водоемах. На Донбассе – Новотроицкое месторождение, Северо-Шевченковское месторождение, Еленовское месторождение, Стыльское месторождение, Каракубское месторождение, Благодатное месторождение, Первомайское месторождение и Родниковское месторождение.

Для реминерализации, улучшения вкусовых качеств и насыщения питьевой воды необходимыми для организма человека минералами предлагается использование устройства, изображенного на рис. 4.

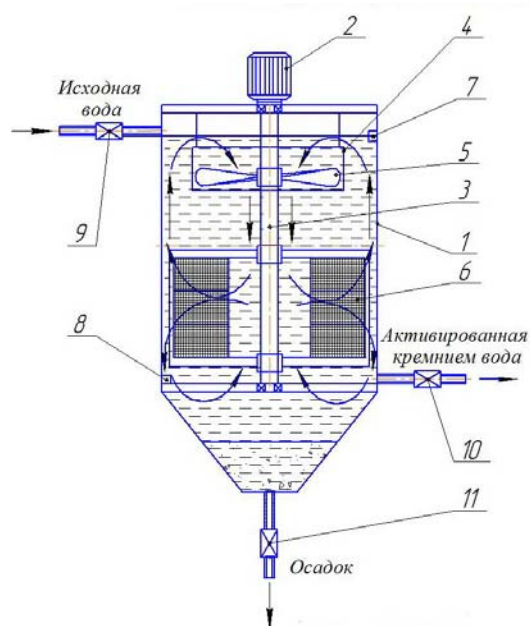


Рис. 4. Устройство для приготовления воды улучшенного качества [20]:

- 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

Обогащение воды минералами 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 [20].

Верхний ярус содержит неподвижный диффузор 4, внутри которого расположены прикреплённые к валу лопасти 5. Нижний ярус представляет собой четырех или более лопастной ротор 6, каждая лопасть которого представляет собой пакет собранный из нескольких кассет, расположенных по вертикали, заполненных минералами природного происхождения (кремний, шунгит, доломит, известняк и пр.) фракцией $5,0 \div 20,0$ мм, закрепленного на валу с помощью траверс.

К реактору подведены три трубопровода с задвижками для подачи исходной предварительно отфильтрованной воды, выпуска обогащенной кремнием воды и слива осадка. Устройство работает следующим образом. Электродвигатель с приводом вращает вал (двухъярусный ротор) с лопастями. При вращении вала лопасти верхнего яруса гонят поток воды вниз к лопастям нижнего яруса, которые преобразуют вертикальный поток в радиальный. Вода, попав на лопасти нижнего яруса пройдя через полидисперсный слой минерала в кассетах, отбрасывается к стенкам резервуара. Достигнув стенок реактора 1, вода поднимается в верхнюю

часть объема, где, пройдя через диффузор, снова попадает на лопасти осевого нагнетателя и направляется вниз к лопастям нижнего яруса. 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 без наличия застойных зон, вследствие гидромеханической обработки исходного объема воды путем многократной циркуляции через его механический вращающийся рабочий орган происходит интенсивное насыщение микроэлементами. Процесс активации длится около 3 часов.

Обогащенная минералами вода после обработки (фильтрации) направляется в резервуар накопитель-усреднитель, в котором после отбора проб производится контроль концентрации кремния с последующим доведением до требуемой [14-19].

Выводы. 1. Обозначенная в статье проблема комплексной переработки шахтных вод не решена до сих пор.

2. Исследование проблемы показывает, что откачиваемые из выработок шахтные воды после соответствующей обработки могут служить достаточно стабильным источником не только хозяйственно-бытового, но и питьевого водоснабжения региона.

3. Способ коррекции солевого состава (реминерализация) опресненной воды с использованием в качестве загрузочных материалов фильтров для этих целей природных материалов является наиболее экономичным и перспективным.

Л и т е р а т у р а

- Брык М.Т., Цапюк Е.А. Ультрафильтрация / М.Т. Брык, Е.А. Цапюк. – Киев: Наукова думка, 1989.
- Вахнин И.Г., Рахманин Ю.А., Ивлева Г.А. и др. // Кондиционирование опресненной дистилляцией воды. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1990.
- Волкова Т.П., Агаркова Н.Г., Репина К.В., Копка С.А., Донченко Э.В. Качество известняков Южного Донбасса / Т.П. Волкова, Н.Г. Агаркова, К.В. Репина, С.А. Копка, Э.В. Донченко // РАНИМИ, Донецк, ДНР ТРУДЫ РАНИМИ: сб. научн. трудов. – Донецк, 2017. – № 4 (19). – 255 с.
- Гадиятов В.Г. Кремни из меловых отложений Воронежской антеклизы. – Новые идеи в науках о Земле: докл. 10-й междунар. конф. / В.Г. Гадиятов. – М., 2011. – Т. 1. – С. 150.
- Гадиятов В.Г., Кукина О.Б., Сибирских О.В. Кремний – минерал для обогащения питьевой воды кремнием // Малышевские чтения: Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием / Старооскольский филиал ФГБОУ ВПО МГРИ-РГГРУ. – Старый Оскол: издательство РОСА, 2015. – 616 с.
- Галецкий Л.С. Сляднев В.А., Яковлев Е.А. Эколого-геологические аспекты формирования качества подземных вод в горно-промышленных районах центрального Донбасса. Аква-Украина 2006: Матер. IV междунар. водного форума (К., 19-21 сентября 2006 г.). – К., 2006. – С. 96-100.

7. Демкин В.И., Навитный А.М., Каплунов Ю.В. Комплексная переработка шахтных вод с использованием мембранно-сорбционных методов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), издательство Горная кн. (М.), 2011. – № 9. – С. 311-315.
8. Егоров А.И., Ипатов П.Ф., Ивлева Г.А. Исследования, разработка и внедрение новой технологии приготовления питьевой воды // Тр. ВНИИ ВОДГЕО. – 1977. – № 67. – С. 74-82.
9. Ивлева Г.А., Гусев Н.Н. Анализ мирового опыта и научно-технических разработок в области кондиционирования опресненных высокоминерализованных вод для питьевых целей (применительно к шахтным водам Восточного Донбасса), 2011.
10. Калинин Ю. К. Экологический потенциал шунгита. Сб. Шунгиты и безопасность жизнедеятельности человека // материалы первой всероссийской научно-практической конференции (3–5 октября 2006 г.) / под ред. Ю.К. Калинина. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – С. 5–10.
11. Куликова В. Лечение шунгитом. – Москва: Центрполиграф, 2006. – 126 с.
12. Малярчиков А.Д. Кремень и человечество или кремень вновь обретает славу / А.Д. Малярчиков. – М.: АМК «ИТМО им. А.В. Лыкова», 1998. – 352 с.
13. Мосин О.В., Игнатов И. Состав и структурные свойства фуллеренсодержащего минерала шунгита // Нано и микросистемная техника. – 2013. Т. 1. – С. 32-40.
14. Нечаев Г.И., Соколовский А.Я., Соколовская Е.А., Слободянюк М.Э. Исследование технологии получения питьевой воды путем кондиционирования шахтной / Г.И. Нечаев, А.Я. Соколовский, Е.А. Соколовская, М.Э. Слободянюк // Вестник ЛНУ им. Владимира Даля. – 2018. – № 3 [9]. – С. 103-111.
15. Нечаев Г.И., Соколовский А.Я., Слободянюк М.Э. Логистическая граф-модель цепи поставок хозяйственного и питьевого водоснабжения из источников заброшенных шахт / Г.И. Нечаев, А.Я. Соколовский, М.Э. Слободянюк // Вестник ЛНУ им. Владимира Даля. – 2018. – № 3 [9]. – С. 112-119.
16. 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.
17. Нечаев Г.И., Соколовский А.Я., Соколовская Е.А. Транспортная система очистки шахтных вод / Г.И. Нечаев, А.Я. Соколовский, Е.А. Соколовская // Вестник ЛНУ им. Владимира Даля. – 2019 – № 3 [9]. – С. 187-193.
18. Нечаев Г.И., Соколовский А.Я., Соколовская Е.А. Инновационные технологии транспортно-логистической системы сферы обслуживания / Г.И. Нечаев, А.Я. Соколовский, Е.А. Соколовская // Вестник ЛНУ им. Владимира Даля. – 2020. – № 7 [37]. – С. 132-139.
19. Нечаев Г.И., Соколовский А.Я., Соколовская Е.А., Базалин А.А. Транспортно-логистическая система технологии получения питьевой воды путем кондиционирования шахтных вод / Г.И. Нечаев, А.Я. Соколовский, Е.А. Соколовская, А.А. Базалин // Вестник ЛНУ им. Владимира Даля. – 2020. – № 7 [37]. – С. 178-186.
20. 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.
21. Подчайнов С.Ф. Минерал цеолит – умножитель полезных свойств шунгита // Сб. Шунгиты и безопасность жизнедеятельности человека // Материалы первой всероссийской научно-практической конференции (3–5 октября 2006 г.) / под ред. Ю.К. Калинина. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – С. 6-74.
22. Рахманин Ю.А. Изучение возможностей получения опресненной питьевой воды смешением дистиллята и морской воды // Материалы II Всесоюз. совещания по гигиен. аспектам опреснения воды. Ч. 2. – М.: Ин-т общей и коммун. гигиены, 1981. – Ч. 2. – С. 35-36.
23. Светиков А. Шахтные воды – экологическое бедствие или будущее водоснабжения // Третий сектор КВУ. – № 1 (49). – 26 октября 2007 г.
24. Сидоренко Г.И., Рахманин Ю.А., Стрижак Е.К. Гигиенические аспекты опресненной воды // Всемирный форум здравоохранения. – ВОЗ. – Женева, 1982. – Т. 2. – № 3. – С. 95-102.
25. Смагин В.Н., Медведев И.Н. Применение мембранных методов разделения веществ / В.Н. Смагин, И.Н. Медведев / М.: НИИТЭХИМ, 1985. Вып. 10. – С. 40.
26. Degremont. Технический справочник по обработке воды. В 2 т. Т.2.: пер с фр. – СПб.: Новый журнал, 2007. – С. 1092-1097.
27. Desalination markets 2005-2015, a global assessment & forecast, Global Water Intelligence, 2005.
28. Хванг С.Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения / С.-Т.М. Хванг, К. Камермермейер. – Химия, 1981. – 464 с.
29. СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения».
30. A. Withers. Options for recarbonation, remineralisation and disinfection for desalination plants, Desalination, 179 (2005) 11-24.

References

1. Bryk M.T., Tsapyuk E.A. Ultrafiltration / M.T. Bryk, E.A. Tsapyuk. – Kiev: Naukova Dumka, 1989.
2. Vakhnin I.G., Rakhmanin Yu.A., Ivleva G.A. and others // Conditioning with desalinated water distillation. – Kiev: Publishing house "Naukova Dumka", 1990.
3. Volkova T.P., Agarkova N.G., Repina K.V., Kopka S.A., Donchenko E.V. The quality of the limestones of the Southern Donbass / T.P. Volkova, N.G. Agarkova, K.V. Repin, S.A. Kopka, E.V. Donchenko / RANIMI, Donetsk, DPR WORKS RUNNY: Sat. scientific. works. – Donetsk, 2017. – No. 4 (19). – 255 p.
4. Gadiyatov V.G. Flints from the Cretaceous deposits of the Voronezh antecline. – New Ideas in Earth Sciences: Dokl. 10th Intern. conf. / V.G. Gadiyatov. – M., 2011. – Т. 1. – P. 150.
5. Gadiyatov V.G., Kukina O.B., Sibirskikh O.V. Flint – a mineral for enriching drinking water with silicon // Malyshevskie readings: Materials of the II All-Russian scientific conference with international participation. / Stary Oskol branch of FSBEI HPE MGRI-RGGRU, 616 pages – Stary Oskol, publishing house ROSA, 2015.
6. Galetskiy L.S., Slyadnev V.A., Yakovlev E.A. Ecological and geological aspects of the formation of groundwater quality in the mining and industrial regions of the

central Donbass. Aqua-Ukraine 2006: Mater. IV int. water forum (K., September 19-21, 2006). K., 2006. P. 96-100.

7. Demkin V.I., Navitny A.M., Kaplunov Yu.V. Complex processing of mine water using membrane sorption methods 2011 in the journal Gorny information and analytical bulletin (scientific and technical journal), publishing house Gornaya kn. (M.), no. 9, p. 311-315.

8. Egorov A.I., Ipatov P.F., Ivleva G.A. Research, development and implementation of a new technology for the preparation of drinking water // Tr. VNII VODGEO. – 1977. – No. 67. – P. 74-82.

9. Ivleva G.A., Gusev N.N. Analysis of world experience and scientific and technical developments in the field of conditioning desalinated highly mineralized waters for drinking purposes (in relation to the mine waters of the Eastern Donbass) 2011.

10. Kalinin Yu.K. Ecological potential of shungite. Sat. Shungite and human life safety // Materials of the first all-Russian scientific-practical conference (October 3-5, 2006) / ed. Yu.K. Kalinin. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2007. P. 5-10.

11. Kulikova V. Treatment with shungite. Moscow: Tsentrpoligraf, 2006. – 126 p.

12. Malyarchikov A.D. Flint and humanity or flint is regaining glory / A.D. Malyarchikov. – M.: AMK "ITMO im. A.V. Lykova", 1998. – 352 p.

13. Mosin O.V., Ignatov I. Composition and structural properties of the fullerene-containing mineral shungite // Nano and microsystem technology. 2013. Vol. 1, pp. 32-40.

14. Nechaev G.I., Sokolovsky A.Ya., Sokolovskaya E.A., Slobodyanyuk M.E. Investigation of the technology of obtaining drinking water by conditioning the mine / G.I. Nechaev, A.Ya. Sokolovsky, E.A. Sokolovskaya, M.E. Slobodyanyuk // Bulletin of LNU im. Vladimir Dahl. – 2018. – No. 3 [9]. – P. 103-111.

15. Nechaev G.I., Sokolovsky A.Ya., Slobodyanyuk M.E. Logistic graph model of the supply chain for household and drinking water supply from sources of abandoned mines / G.I. Nechaev, A.Ya. Sokolovsky, M.E. Slobodyanyuk // Bulletin of LNU im. Vladimir Dahl. – 2018. – No. 3 [9]. – P. 112-119.

16. Nechaev G.I., Sokolovsky A.Ya., Sokolovskaya E.A. Improving the quality of purified mine waters by enriching them with microelements / G.I. Nechaev, A.Ya. Sokolovsky, E.A. Sokolovskaya // Bulletin of LNU im. Vladimir Dahl. – 2018. – No. 3 [9]. – P. 120-127.

17. Nechaev G.I., Sokolovsky A.Ya., Sokolovskaya E.A. Transport system of mine water treatment / G.I. Nechaev, A.Ya. Sokolovsky, E.A. Sokolovskaya // Bulletin of LNU im. Vladimir Dahl. – 2019. – № 3 [9]. – P. 187-193.

18. Nechaev G.I., Sokolovsky A.Ya., Sokolovskaya E.A. Innovative technologies of the transport and logistics system of the service sector / G.I. Nechaev, A.Ya. Sokolovsky, E.A. Sokolovskaya // Bulletin of LNU im. Vladimir Dahl. – 2020. – No. 7 [37]. – P. 132-139.

19. Nechaev G.I., Sokolovsky A.Ya., Sokolovskaya E.A., Bazalin A.A. Transport and logistics system of technology for obtaining drinking water by conditioning mine waters / G.I. Nechaev, A.Ya. Sokolovsky, E.A. Sokolovskaya, A.A. Basalin // Bulletin of LNU named after Vladimir Dahl. – 2020. – № 7 [37]. – P. 178-186.

20. Utility model patent: (19) RU (11) 179 020 (13) U1, SPK C02F 1/68 (2006.01); C01B 33/12 (2006.01); B01F 7/04 (2006.01); B01F 7/18 (2006.01) Device for water enrichment with silicon / Sokolovsky A.Ya., Nechaev G.I., Sokolovskaya E.A.; Patent holder (s): Sokolovsky A.Ya., Application:

2017109000, 17.03.2017, published: 25.04.2018. Byull. No. 12.

21. Podchainov S.F. Mineral zeolite – a multiplier of useful properties of shungite // Coll. Shungite and human life safety // materials of the first all-Russian scientific-practical conference (October 3-5, 2006) / ed. Yu.K. Kalinin. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2007. P. 6-74.

22. Rakhmanin Yu.A. Study of the possibilities of obtaining desalinated drinking water by mixing distillate and sea water // Materials II All-Union. hygiene meetings. aspects of water desalination. Part 2. – M.: Ying t general and communes. hygiene, 1981. – Part 2. – P. 35-36.

23. Svetikov A. Mine waters – an ecological disaster or the future of water supply / Third sector of KVVU № 1 (49) October 26, 2007.

24. Sidorenko G.I., Rakhmanin Yu.A., Strizhak E.K. Hygienic aspects of desalinated water // World Health Forum. – WHO. – Geneva, 1982. – T. 2. – No. 3. – P. 95-102.

25. Smagin V.N., Medvedev I.N. Application of membrane methods for the separation of substances / V.N. Smagin, I.N. Medvedev / M.: NIITEKHIM, 1985. Issue. 10. P. 40.

26. Degremont. Technical reference for water treatment. In 2 vols. Vol. 2.: trans. From fr. – SPb.: New magazine, 2007. – From 1092-1097.

27. Desalination markets 2005-2015, a global assessment & forecast, Global Water Intelligence, 2005.

28. Hwang S.-T., Kammermeyer K. Membrane separation processes / S.-T.M. Hwang, K. Kammermeyer / Chemistry, 1981. – 464 p.

29. SanPiN 2.1.4.1074-01. "Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems".

30. A. Withers. Options for recarbonation, remineralisation and disinfection for desalination plants, Desalination, 179 (2005) 11-24.

Nechayev G.I., Sokolovsky A.Y., Sokolovskaya E.A. INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM IN THE FIELD OF SERVICE

Logistics in the modern world covers almost all areas of activity, including cultural, leisure and restaurant business with its own specific features. Today, restaurant business logistics is the newest direction, which has hardly been studied scientifically. The need to improve the level of customer service of restaurants, on the one hand, and the effectiveness of their activities, taking into account the achievements of scientific and technological progress, on the other hand, determine the relevance of introducing the principles and rules of logistics in the restaurant industry.

Key words: technical innovations, restaurant business logistics, customer acquisition, quality of service, drinking water, silicon-activated water, water treatment.

Нечаев Григорий Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Nechayev Grigoriy, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Соколовский Александр Ярославович, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: afalcovsky@mail.ru

Sokolovsky Alexander, senior lecturer of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Соколовская Елена Александровна, ассистент, аспирант кафедры «Туризм и гостиничное дело», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: sokolik_lena@mail.ru

Sokolovskaya Elena, assistant, post-graduate student of the «Tourism and hotel business» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 15.04.2021

УДК 621.865.8 (035)

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА НАКОПЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РТО АТСС С ПОМОЩЬЮ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ

Никишкин Ю.А., Лошаков А.С., Клочков Е.А.

QUALITATIVE ANALYSIS OF THE POSITIONING ERROR ACCUMULATION MECHANISM OF PTO ATCC USING PHASE DIAGRAMS

Nikishkin Y.A., Loshakov A.S., Klochkov E.A.

В данной статье представлены результаты проведения качественного анализа механизма накопления погрешностей позиционирования рельсового транспортного оборудования автоматизированных транспортно-складских систем (РТО АТСС) с помощью фазовых диаграмм. Приведен анализ влияния погрешности скорости перемещения РТО, времени торможения на процесс торможения и точность позиционирования для разных конструкций позиционирующих механизмов.

Ключевые слова: исследование, транспорт, склад, фазовая диаграмма, позиционирование, время, скорость, траектория.

Введение. При работе промышленного роботизированного оборудования любого типа, при остановке и фиксации его рабочего органа в любой точке пространства возникает погрешность, называемая погрешностью позиционирования. Эта погрешность носит случайный характер, так как зависит от большого количества факторов, каждый из которых в отдельности не удастся заранее определить ни по величине, ни по направлению воздействия. Под точностью позиционирования следует понимать степень соответствия указанной погрешности позиционирования заранее известной, заданной величине этой погрешности.

В составе ГПС транспортно-накопительные и складские комплексы формируются в автоматизированные транспортно-складские системы (АТСС), управляемые ЭВМ. АТСС предназначены для взаимосвязанного выполнения процессов транспортирования и складирования тарно-штучных грузов по грузопотокам предприятия. Определяющими звеньями в сложной цепи современных АТСС являются машины напольного рельсового и безрельсового транспорта, стеллажные краны-штабелеры, напольные конвейерные системы, подвесные монорельсовые системы, точность позиционирования которых имеют значения, превышающие допустимые параметры работы складской системы.

Цель исследования. Исследование проводилось с целью анализа механизма накопления погрешности позиционирования РТО АТСС с помощью фазовых диаграмм для разных конструкций систем позиционирования.

Материалы и результаты исследования. Эффективным инструментом анализа характера и механизма накопления погрешности величины тормозного пути РТО АТСС при позиционировании является исследование процесса позиционирования с помощью фазовых диаграмм.

На рис. 1 представлена фазовая диаграмма $V=f(S)$, характерная для режима позиционирования РТО АТСС, где по оси X откладывается величина номинальной скорости движения РТО, а по оси Y откладывается соответственно путь, проходимый РТО при позиционировании, и скорость передвижения РТО.

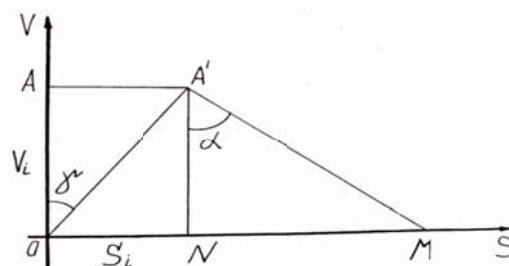


Рис. 1. График фазовой диаграммы

Время прохождения участков пути t_i , проходимых РТО в процессе позиционирования на графике фазовой диаграммы, определяется тангенсом угла γ_i , где i – номер этапа.

Для определения соотношения между t_i и γ_i из $\triangle AA'O$ (рис. 1) $\operatorname{tg} \gamma_i = \frac{ON}{NA'} = \frac{S_i}{V_i}$, а в предположении равномерного движения РТО можно записать $t_i = S_i/V_i$, следовательно, $t_i = \operatorname{tg} \gamma_i$, откуда $\gamma_i = \arctg t_i$.

Вершины углов, определяющих время прохождения участков, находятся на оси S . Аналогично находим соотношение между временем

торможения t_i и углом наклона траектории фазового портрета при движении РТО на i -том участке [2].

Из $\triangle NAM$ (рис. 1) находим $\operatorname{tg} a_i = \frac{NM}{AN} = \frac{S_i}{V_i}$, а в предположении равнозамедленного передвижения РТО можно записать $t_{Ti} = \frac{2S_i}{V_i}$, следовательно, $t_{Ti} = 2 \operatorname{tg} a_i$, откуда $a_i = \frac{\operatorname{arctg} t_{Ti}}{2}$.

Вершины углов a_i определяющих время торможения, соответствующее внешним нагрузкам, действующим на i -том участке траектории, лежат на траектории фазового портрета $V = f(S)$.

На рис. 2 приведен график фазового портрета, соответствующий режиму позиционирования РТО АТСС с использованием привода передвижения без применения тормоза (свободный выбег).

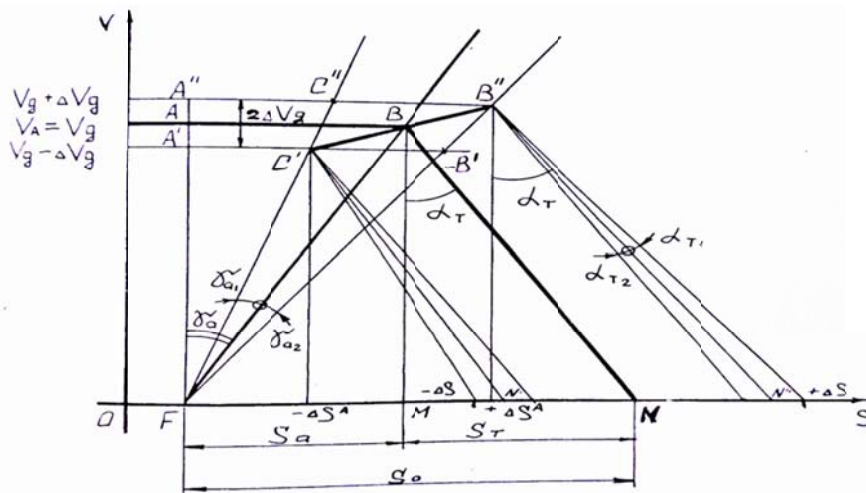


Рис. 2. График фазовой диаграммы режима позиционирования РТО АТСС с приводом без тормоза

На оси V откладывается значение скорости передвижения РТО АТСС, и параллельно оси S проведена траектория фазового портрета.

Начало процесса позиционирования определяется точкой F на оси S , местом установки путевого датчика на отключение двигателя привода передвижения РТО АТСС.

Проецируя точку F на траекторию $V = f(S)$, находим точку A , которая является началом процесса позиционирования на траектории фазового портрета. Как отмечалось ранее, сигнал от путевого датчика не вызывает немедленного торможения РТО АТСС, и с момента подачи сигнала до момента начала торможения проходит время t_a , необходимое для срабатывания аппаратуры управления, которому соответствует угол $\gamma_a = \operatorname{arctg} t_a$.

Торможения на этом участке нет, поэтому траектория параллельна оси S . От AF откладываем γ_a и продолжаем луч до пересечения с траекторией, на которой появляется точка B [1]. Проекция точки B на ось S обозначит отрезок FM , который является участком тормозного пути S_a , пройденного РТО АТСС при позиционировании за время t_a .

В точке B траектории начинается процесс торможения РТО АТСС под действием сил сопротивления передвижению ($F_{тр} + F_{укл}$). Время торможения определяется по известной формуле, а значение угла a_T , соответствующего t_T , определится из выражения $a_T = \frac{\operatorname{arctg} t_T}{2}$.

Из точки B , проводя луч под углом a_T до пересечения с осью S , получим отрезок BN . Таким образом, траектория фазового портрета проходит

через точки A, B, N . Участок тормозного пути при позиционировании, обозначенного на оси S буквами MN , определяет путь, пройденный РТО АТСС за время t_T .

Таким образом, $FM + MN = FN$ — является систематической составляющей тормозного пути при позиционировании РТО АТСС.

Для определения погрешности позиционирования (случайной составляющей тормозного пути) РТО АТСС на оси V откладывается погрешность $\pm \Delta V_d$ скорости V_d , которая на рис. 2 будет определена наименьшим значением $V_d - \Delta V_d$ и наибольшим значением $V_d + \Delta V_d$. Действительное значение скорости V_d на траектории $V = f(S)$ будет определена полосой, ширина которой определяется выражением $-(V_d + \Delta V_d) - (V_d - \Delta V_d) = 2\Delta V_d$ [6]. Время срабатывания аппаратуры управления t_a с погрешностью $\pm \Delta t_a$ определяется также наименьшим $t_a - \Delta t_a$ и наибольшим $t_a + \Delta t_a$ значением. Преобразуя их в угловой эквивалент, получим:

$$\gamma_{a1} = \operatorname{arctg}(t_a - \Delta t_a), \quad (1)$$

где γ_{a1} — угол, соответствующий наименьшему значению, откладывается влево от номинального значения γ_a ;

γ_{a2} — угол, соответствующий наибольшему значению, откладывается вправо от номинального значения γ_a .

Погрешность времени срабатывания аппаратуры управления определяется выражением $\gamma_{a1} - \gamma_{a2} = 2\Delta\gamma_a$.

Аналогично можно записать и для времени торможения t_1 .

$$\alpha_1 = \arctg \left[\frac{(t - \Delta t)}{2} \right], \quad (2)$$

где α_1 – угол, соответствующий наименьшему значению, откладывается влево от номинального значения.

Для определения погрешности пути, пройденного АТСС за время t_a , рассмотрим четырехугольник $C'C''B'B''$, образовавшийся при пересечении сторон углов α_{T1} и α_{T2} и полосы $2\Delta V_d$, определяющей действительное значение V_d . Вершины четырехугольника образованы экстремальными значениями скорости V_d и времени. Вероятные значения скорости и времени заключены в периметр четырехугольника, диагональ которого есть геометрическое место точек этих совокупностей, спроецированная на ось S , даст погрешность пути пройденного АТСС за время t_a [3].

Так, точка C , спроецированная на ось S , даст значение минимального пути АТСС при движении с

минимальной скоростью $V_d - \Delta V_d$ за минимальное время $t_a - \Delta t_a$, а точка B , спроецированная на ось S , даст значение максимального пути АТСС при движении с максимальной скоростью за максимальное время $t_a + \Delta t_a$.

Тормозной участок траектории $S = f(V)$ на рис. 2 определен прямой BN . Для определения действительной траектории из точек C' и B' проводим прямые, параллельные номинальной траектории до пересечения с осью S в точках N' и N'' .

Для оценки влияния погрешности времени торможения из вершин C' и B' от отрезков $C'N'$ и $C''N''$ влево откладываем угол α_1 , вправо угол α_2 и проводим прямые до пересечения с осью S . Крайняя правая точка $+\Delta S$ и крайняя левая точка $-\Delta S$ на оси S определяет погрешность пути при торможении РТО АТСС. Значение $2\Delta S$ дает суммарную погрешность позиционирования РТО АТСС приводом без использования тормоза.

При использовании в приводе передвижения РТО АТСС тормоза с электромагнитным толкателем построение траектории фазового портрета на участке срабатывания аппаратуры управления до построения точки B будет аналогичным ранее приведенному (рис. 3).

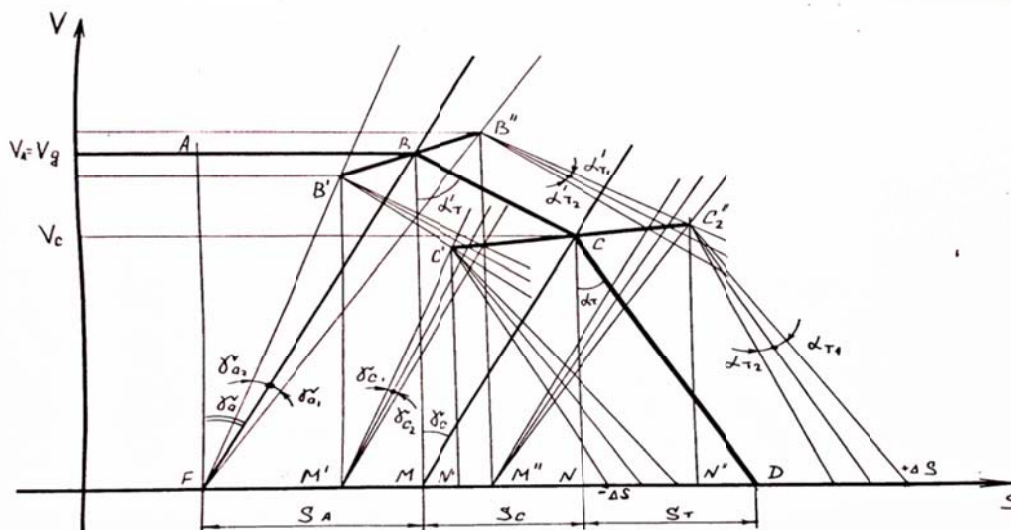


Рис. 3. График фазовой диаграммы режима позиционирования РТО АТСС для привода с тормозом ТКТ

В точке B под действием внешних сил $(F_{тр} + F_{укл} + F_T/2)$ начнется торможение РТО АТСС. Время торможения t определится из выражения $\alpha'_T = \frac{\arctg t'}{2}$, а время действия этой комбинации внешних нагрузок определится временем срабатывания тормоза, угловой эквивалент которого запишется следующим образом $\gamma_c = \arctg t_c$. Угол γ_c откладываем от BM с вершиной в точке M , а α'_T – от BM с вершиной в точке B . При пересечении сторон образуется точка C , которая является началом следующего этапа позиционирования, характеризующаяся новой комбинацией внешних

сил $(F_{тр} + F_{укл} + F_T)$. Построение тормозного участка траектории фазового портрета CD описано ранее [5].

Для построения реальной траектории движения при прохождении участка MN тормозного пути РТО АТСС при позиционировании поступим следующим образом, спроецировав ранее найденные на траектории точки B' , B'' принадлежащие диагонали, на ось S , получим точки M' и M'' , которые определяют минимальный FM' и максимальный FM'' путь, пройденный РТО АТСС за время $t_a \pm \Delta t_a$. Из точек проводим под углом прямые,

параллельные MC , а от каждой стороны откладываем углы соответственно в одну γ_{c1} и в другую γ_{c2} стороны, которые равны:

$$\gamma_{c1} = \arctg(t_c - \Delta t_c). \quad (3)$$

Из точек B' и B'' проводим под углом α'_T прямые параллельные BC , а от каждой стороны откладываем углы α'_{T1} и α'_{T2} , которые определяются выражением:

$$\alpha'_{T1} = \arctg \left[\frac{(t_r - \Delta t_r)}{2} \right]. \quad (4)$$

При пересечении крайних прямых, ограничивающих, с одной стороны, минимальные значения углов, а с другой – максимальные, получим отрезок CN , который, спроецированный на ось S , даст отрезок $N'N''$, определяющий погрешность участка тормозного пути FN . Далее траектория, характеризующая погрешность всего тормозного пути FD РТО АТСС, определяется описанным ранее методом [4].

Выводы. 1. Эффективным способом при исследовании накопления погрешности при позиционировании РТО АТСС является подход, в основу которого положен аналитический метод исследования, в частности, исследование процесса позиционирования РТО с помощью фазовых диаграмм.

2. Применение методики исследования процесса позиционирования РТО с помощью фазовых диаграмм позволяет провести сравнительный анализ характера и механизма накопления погрешности позиционирования для различных систем позиционирования.

3. Наиболее полная оценка суммарного влияния основных факторов, определяющих величину погрешности позиционирования РТО АТСС, достигается при анализе номинальной скорости перемещения РТО и времени, отведенного на позиционирование РТО.

Л и т е р а т у р а

1. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник / Ю.Г. Козырев. – М.: Машиностроение, 1983. – 376 с.
2. Кобринский А.А. Мобильность и точность манипулятора / А.А. Кобринский, Л.А. Кобринский // Машиноведение. – 1976. – № 3. – С. 3-9.
3. Варятченко С.В. Математическая модель робота манипулятора / С.В. Варятченко, Н.Д. Голубцов // Промышленные роботы. – Л.: Машиностроение, 1977. – № 1. – С. 63-67.
4. Саблин А.Д. Некоторые методы оценки точности позиционирования манипулятора / А.Д. Саблин, В.М. Сорин // Робототехника. – Л.: ЛПИ, 1976. – С. 40-54.
5. Смехов А.А. Автоматизированные склады. – 4-е изд. перераб. и доп. / А.А. Смехов. – М.: Машиностроение, 1987. – 296 с.
6. Никишкин Ю.А. Аналитическое исследование работы позиционирующих устройств транспортного оборудования АТСС / Н.Ю. Никишкин, А.В. Мартынов, Ю.В. Горайнов. – ВУГУ. – Луганск, 1995. – 58 с. Дел. в ГНТБ Украины, 25.01.95 г. N 237. – Ук. 95.

References

1. Kozyrev Yu.G. Industrial robots: Spravochnik / Yu.G. Kozyrev. – M.: Mashinostroyeniye, 1983. – 376 p.

2. Kobrinsky A.A. Mobility and accuracy of the manipulator / A.A. Kobrinsky, L.A. Kobrinsky // Mashinovedenie. – 1976. – No. 3. – P. 3-9.

3. Varyatchenko S.V. Mathematical model of the robot manipulator / S.V. Varyatchenko, N.D. Golubcov // Industrial robots. – L.: Mashinostroyeniye, 1977. – No. 1. – P. 63-67.

4. Sablin A.D., Some methods for evaluating the positioning accuracy of the manipulator / D.A. Sablin, M.V. Sorin // Robotics. – L.: ABI, 1976. – P. 40-54.

5. Smekhov A.A. Automated warehouses. 4th ed. reprint. and dop. / A.A. Smekhov. – M.: Mashinostroyeniye, 1987. – 296 p.

6. Nikishkin Yu.A. Analiticheskoe issledovanie raboty positiviruyushchikh urovodov transport oborudovaniya ATSS [Analytical study of the work of positioning devices of transport equipment ATSS]. – VUGU. – Lugansk: 1995. – 58 p. Del. v SSTB of Ukraine, 25.01.95 g. N 237. – Criminal Code 95.

Nikishkin Y.A., Loshakov A.S., Klochkov E.A.

QUALITATIVE ANALYSIS OF THE POSITIONING ERROR ACCUMULATION MECHANISM OF PTO ATCC USING PHASE DIAGRAMS

This article presents the results of a qualitative analysis of the mechanism of accumulation of errors in the positioning of rail transport equipment of automated transport and storage systems (RTO ATSS) using phase diagrams. The analysis of the influence of the error of the speed of movement of the RTO, the braking time on the process of rotation and the positioning accuracy for different structures of positioning mechanisms is given.

Key words: research, transport, warehouse, phase diagram, positioning, time, speed, trajectory.

Никишкин Юрий Анатольевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: danko_ua@mail.ru

Nikishkin Yuri, candidate of technical sciences, docent of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Лошаков Александр Сергеевич, студент 1 курса магистратуры направления подготовки «Интеллектуальные транспортные системы» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: keksvrucke@gmail.com

Loshakov Alexander, 1st year student of the master's degree in the direction of training «Intelligent transport systems» of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Клочков Евгений Андреевич, студент 1 курса магистратуры направления подготовки «Интеллектуальные транспортные системы» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Klochkov Evgeny, 1st year student of the master's degree in the direction of training «Intelligent transport systems» of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 06.04.2021

УДК 656.02

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ПЕРЕВОЗОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОСТАВКИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Никишкин Ю.А., Третьякова В.С., Кудинов Ю.С.

ON THE CHOICE OF TRANSPORTATION TECHNOLOGIES FOR THE DELIVERY OF PASSENGER CARS

Nikishkin Y.A., Tretyakova V.S., Kudinov Y.S.

В статье представлены результаты исследования перевозочных технологий доставки легковых автомобилей потребителю. Исследование перевозочных технологий доставки легковых автомобилей потребителю проведено для трех основных перевозочных технологий с помощью SWOT-анализа, который показал перспективы применения и дальнейшего развития перевозок автомобилей в контейнерах повышенной вместимости.

Ключевые слова: перевозочные технологии, доставка, легковой автомобиль, инкотермс – 2020, SWOT-анализ, контейнер.

Введение. Важнейшее место в обеспечении жизнедеятельности людей играет рынок товаров и рынок транспортных услуг. Рынок товаров охватывает широкий спектр товаров, предназначенных для личного пользования. Важное место на данном рынке занимают легковые автомобили.

Рынок транспортных услуг недостаточно развит и не может пока предложить рынку продаж и покупателям автомобилей достаточно полный набор транспортных услуг по доставке легковых автомобилей потребителям.

Актуальность темы исследования состоит в недостаточном обеспечении рынка легковых автомобилей транспортными технологиями доставки автомобилей в регионы с относительно малой численностью населения, а также малых партий поставок автомобилей элитного класса, которые реализуются в сфере рынка транспортных услуг [1-3].

Цель – исследовать организацию перевозки легковых автомобилей с использованием различных транспортных технологий.

Материалы и результаты исследования. По данным OICA (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles), в 2019 году в Китае было реализовано 21,44 млн новых легковых автомобилей. И доля этой страны в глобальном рынке составила 33,3%. Вторым по значимости

следует назвать объединенный рынок стран ЕС. Объем продаж рассматриваемой нами продуктовой группы в 2019 году достиг на этом рынке 15,82 млн новых легковых автомобилей. Это соответствует доле в 24,6% от суммарного объема проданных в мире автомобилей. В составе рынка ЕС существенными объемами реализации автомобилей отличаются такие страны, как Германия, Франция и Великобритания. А также, в меньшей степени, Италия и Испания. Совокупно перечисленные пять стран устойчиво формируют свыше 70% суммарного спроса европейского рынка на новые легковые автомобили. На рынке США в 2019 году было реализовано 4,71 млн легковых автомобилей, что соответствовало доле в 7,3% от общемировых продаж. Таким образом, на долю трех основных региональных рынков пришлось свыше 65% суммарного объема реализованных в 2019 году в мире легковых автомобилей.

Однако помимо перечисленных, считаем необходимым упомянуть и о рынках, демонстрирующих существенный объем сбыта таких стран, как Япония (4,3 млн шт.), Индия (2,96 млн шт.), Бразилия (2,26 млн шт.) и Южная Корея (1,54 млн шт.). В группу лидеров входит и Россия, где объем продаж автомобилей хоть и сильно сократился в последние годы, но остается на достаточно высоком уровне и превысил по итогам 2019 года 1,5 млн легковых автомобилей. Что касается динамики основных региональных рынков, из представленного на рис. 1 графика видно, что она была разнонаправленной. Так, Китай и США в соответствии с общемировой тенденцией демонстрируют спад продаж. При этом крупнейший в мире китайский рынок сократился за 2018-2019 годы более чем на 13%. И на него пришлось свыше половины от суммарного падения объемов продаж глобального рынка легковых автомобилей. Рынок стран ЕС, напротив, в рассматриваемый период демонстрировал пусть небольшой, но прирост продаж.

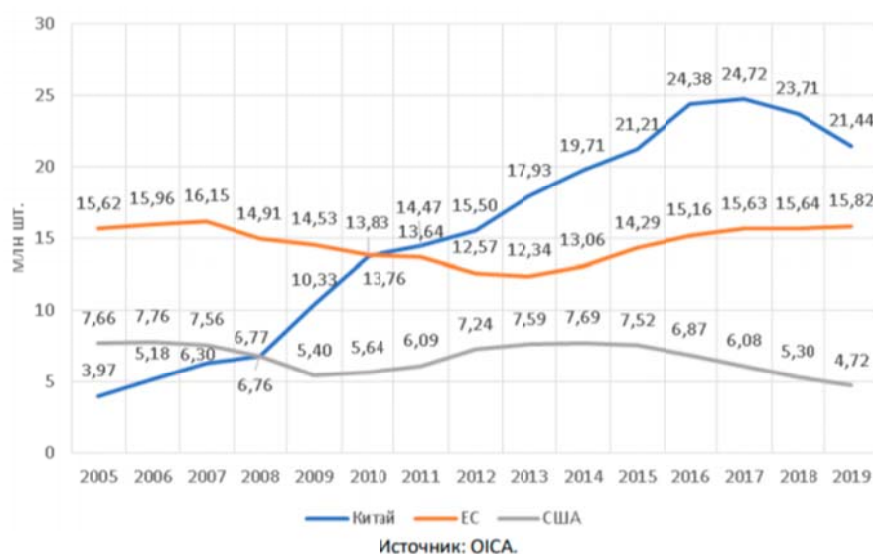


Рис. 1. Динамика продаж на основных региональных рынках легковых автомобилей

Как уже отмечалось, приобретение населением в личное пользование легковых автомобилей является системной проблемой, поскольку ее решение находится в компетенции субъектов, как минимум, двух независимых сфер деятельности. В частности, вопросы купли-продажи находятся в компетенции субъектов рынка товаров, а вопросы, непосредственно связанные с организацией доставки, находятся в компетенции субъектов рынка транспортных услуг. Системность вопроса определяется содержательной стороной взаимодействия этих сфер, то есть содержательной стороной соответствующих соглашений между заинтересованными участниками рынка.

Очевидно, что приоритет здесь принадлежит региональным дилерам – продавцам автомобилей, поскольку именно они являются исполнительной стороной договора купли-продажи. Фактическая продажа легковых автомобилей производится региональными дилерами, а распределение и доставка машин осуществляется из главного (центрального) распределительного центра. Отдел логистики автоконцерна выбирает способ доставки автомобилей до дилеров (покупателей). Процесс товародвижения (доставка) машин осуществляется транспортными компаниями, специализирующимися на той или иной перевозочной технологии.

В новом издании Инкотермс (2020 года) допускается руководствоваться торговыми процедурами не только в международном товарообороте, но и во внутреннем. В частности, в данном случае могут использоваться базисные Условия поставки CIF (Cost Insurance and Freight / Стоимость, страхование и фрахт), и CIP (Carriage and Insurance Paid to / Перевозка и страхование оплачены до), это те правила, которые обязуют Продавца приобрести страховку в пользу Покупателя для экспорта товаров. В новой редакции

Инкотермс 2020 для условий поставок CIF, как и ранее в Инкотермс 2010, требуется минимальное страховое покрытие. Стороны могут согласовать в контракте более высокие уровни покрытия, если они того пожелают. Для условий поставки CIP Инкотермс 2020 продавец обязан застраховать товар от всех рисков (максимальное покрытие – не менее 110% от стоимости товара). Стороны могут согласиться в контракте на более низкий уровень страхового покрытия, если они того пожелают. Данная поправка оправдана тем, что условие поставки CIF обычно используется для морских перевозок грузов навалом (сырье, минералы и т.д.). Стоимость которых за килограмм очень низкая, и требование страхования с максимальным покрытием значительно повысило бы конечную цену товара. Условие поставки CIP – это все же больше мультимодальный термин, часто используемый для доставки промышленных товаров, в том числе легковых автомобилей, которые могут требовать более высокого уровня страхового покрытия.

Также могут использоваться базисные условия поставки DPU Incoterms 2020 (Delivered Named Place Unloaded) (переводится как «Поставка на место выгрузки»). Этот термин означает, что продавец исполняет свои обязательства по внешнеторговому контракту, когда передает в распоряжение покупателя продукцию, выгруженную в назначенном пункте и прошедшую экспортное таможенное оформление (также уплачиваются вывозные пошлины и сборы, если это необходимо). Базис поставки DAT Инкотермс 2010 (Delivered at Terminal / Доставка на терминале) переименован в условия поставки DPU Инкотермс 2020 (Delivered Named Place Unloaded / Доставка на место выгрузки) (таблица 1). Данное изменение было вызвано двумя причинами. Во-первых, возникла путаница в отношении различий между

термином DAT Инкотермс 2010 (Доставка на терминале) и термином DAP Инкотермс 2010 (Поставка в месте назначения). Ключевое различие между этими условиями заключается в том, что в соответствии с правилом DAT доставка осуществляется после того, как товары были выгружены с транспортного средства и предоставлены покупателю в указанном терминале. Тогда как в рамках условия DAP доставка осуществляется до выгрузки товаров – когда они предоставлены покупателю на прибывшем транспортном средстве и готовы к разгрузке (рис. 2).

Таблица 1

Толкование терминов CIP и DPU

CIP	Любые виды транспорта	CIP – «Carriage and Insurance Paid to» named place of destination переводится «Фрахт/перевозка и страхование оплачены до» указанное название места назначения. Продавец обязан: выполнить экспортное таможенное
-----	-----------------------	---

		оформление, застраховать и доставить товар в согласованное место назначения. Покупатель обязан: разгрузить товар и выполнить импортное таможенное оформление. Риски переходят в момент передачи продавцом товара перевозчику
DPU	Любые виды транспорта	DPU – «Delivered Named Place Unloaded» named place of destination переводится «Поставка на место выгрузки» указанное название места назначения. Продавец обязан: выполнить экспортное таможенное оформление, доставить товар до места назначения и выгрузить его. Покупатель обязан: принять товар и выполнить импортное таможенное оформление. Риски переходят в месте назначения после полной выгрузки

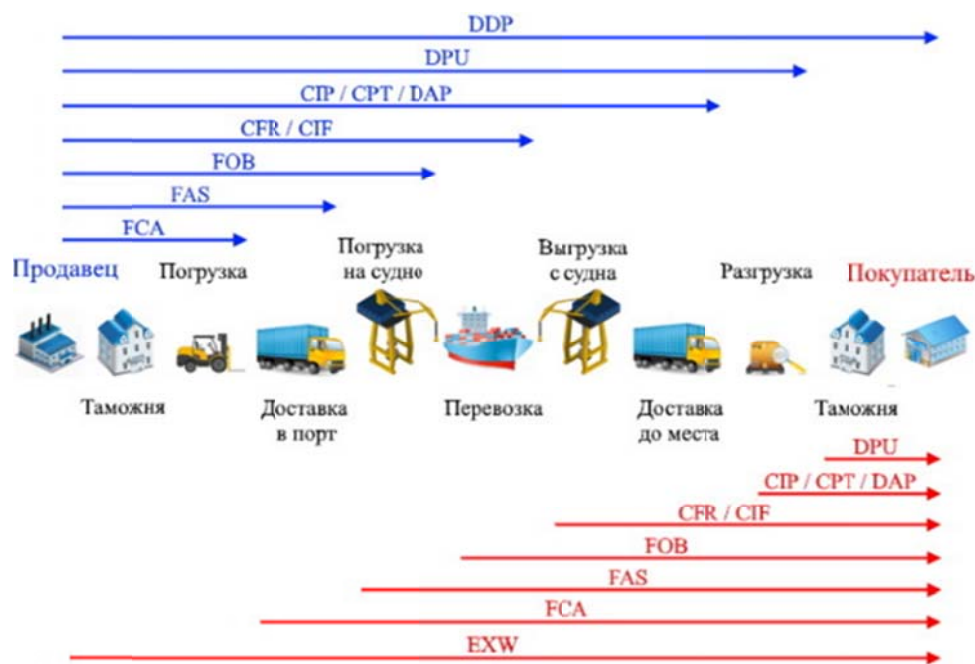


Рис. 2. Термины Инкотермс 2020

При транспортировке легковых машин морским транспортом или транспортом территориальных вод чаще всего применяются условия поставки CIF Инкотермс 2020 – это торговый термин международных правил Инкотермс 2020, расшифровывается «Cost, Insurance and Freight» named port of destination, переводится как «Стоимость, страхование и фрахт» указанный порт назначения – означает, что продавец считается выполнившим свои обязательства по поставке тогда, когда застрахованный им товар размещен на борту

судна зафрахтованным продавцом для доставки в порт назначения.

Эти чрезвычайно важные обстоятельства заставляют продавца ответственно относиться к выбору способа доставки, а также к выбору экспедитора – организатора перевозки.

Продавец крайне заинтересован в том, чтобы транспортная составляющая в конечной цене автомобиля была минимальной. В действительности функции, связанные с куплей-продажей легковых автомобилей, отделены от функций доставки товара (груза).

Эти функции выполняются различными субъектами транспортного рынка, деятельность которых строго ограничена компетенцией собственной функциональной среды.

Важным моментом является формирование логистической среды, позволяющей пользователю иметь выбор способа доставки своего товара.

Выбор перевозочной технологии осуществляется с учетом ряда факторов:

- стоимости транспортировки;
- надежности;
- сохранности доставки;
- полного срока доставки машин от продавца до конечного покупателя и прочее.

Современное состояние вопроса выбора перевозочных технологий для реализации поставленной задачи основано на двух перевозочных технологиях, которые включают перевозку легковых автомобилей с помощью:

- автомобилей;
- железнодорожных вагонов.

Для доставки автомобилей в регионы с относительно малой численностью населения, а

также малых партий поставок автомобилей элитного класса применяют третью технологию, основанную на применении контейнеров.

Задача данной работы состоит в том, чтобы доказать, что добавление контейнерной технологии доставки (на основе контейнеров повешенной вместимости) в целом существенно повысит качественный уровень рынка транспортных услуг в сфере доставки легковых автомобилей в регионы.

В настоящее время все чаще перевозчики автомобилей используют три перевозочные технологии. Каждая из перевозочных технологий имеет свою специфику, свои достоинства и недостатки и, в целом, характеризуется большим количеством параметров с качественными и количественными признаками.

Выбор той или иной технологии доставки объективно затруднен и нуждается в дополнительных исследованиях, которые целесообразно выполнить с применением SWOT-анализа для каждой из исследуемых перевозочной технологий. В табл. 2-4 приведены данные SWOT-анализа по каждой перевозочной технологии.

Таблица 2

SWOT-анализ перевозки легковых автомобилей с помощью автобусов

Внутренняя среда	Сильные стороны 1. Доставка «от двери до двери»; 2. Доставка до 1000 км; 3. Быстрая загрузка и разгрузка одним участником (водителем)	Слабые стороны 1. Небольшая вместимость автобуса; 2. Небольшое количество полуприцепов
Внешняя среда	Возможности 1. Отправка автобуса по потребности (нет жесткого графика); 2. Индивидуальный подход к клиенту (маршрут, скорость, сопровождение подбираются индивидуально); 3. Кратчайший путь доставки; 4. Дополнительные остановки для дозагрузки (выгрузки) автобуса	Угрозы 1. Низкая сохранность груза; 2. Ограничение курсирования (экономически эффективно до 3500 км)

Таблица 3

SWOT-анализ перевозки легковых автомобилей в вагонах-автомобилевозах

Внутренняя среда	Сильные стороны 1. Доставка на большие расстояния; 2. Отправка крупных партий машин; 3. Быстрая погрузка состава бригадой (закатка и крепление машин)	Слабые стороны 1. Большой срок накопления партии машин; 2. Погрузка с использованием специального оборудования (аппарели); 3. Привязка перевозки груза к ж/д инфраструктуре, что умножает количество клиентов; 4. Увеличенное время выполнения перевозки
Внешняя среда	Возможности 1. Полная безопасность транспортировки; 2. Регулярность отправок	Угрозы 1. Ограничение курсирования (экономически эффективно после 3500 км); 2. Необходима специальная территория для выкатки и хранения машин

Таблица 4

SWOT-анализ перевозки легковых автомобилей в контейнерах

Внутренняя среда	Сильные стороны 1. Малый срок накопления партии машин; 2. Доставка на большие расстояния; 3. Быстрая погрузка контейнера бригадой (закатка и крепление машин); 4. Возможность погрузки-разгрузки мобильными ГПМ; 5. Возможность организации перевозки несколькими видами транспорта; 6. Предоставляет возможность выбора вида транспорта; 7. Сокращает время доставки	Слабые стороны 1. Небольшая вместимость контейнера
Внешняя среда	Возможности 1. Перевозка дорогостоящих машин; 2. Полная безопасность доставки; 3. Отправка контейнера по потребности (нет жесткого графика)	Угрозы 1. Наличие подвижного состава; 2. Необходима специальная территория для выкатки и хранения машин

Данные SWOT-анализа показывают, что у каждой перевозочной технологии есть свои преимущества и недостатки. При этом главными факторами являются время доставки груза, расстояние перевозки и сохранность легковых автомобилей. Специальных ограничений на этот счет не существует, но эксперты говорят, что экономически автобусы имеют преимущества на короткие расстояния, в то время как вагоны-автомобилевозы и контейнеры эффективнее использовать на дальние расстояния.

Перевозка легковых автомобилей в контейнерах позволяет существенно уменьшить время доставки и значительно повышает возможности доставки по критерию сохранности. Таким образом, можно утверждать, что использование в перевозке легковых автомобилей контейнеров способствует повышению качества функционирования логистической среды.

Выводы. 1. Прогнозируемая ситуация, снижение темпов роста производства автомобилей, создала благоприятные предпосылки для внедрения новых более экономичных и безопасных технологий доставки легковых автомобилей в существующей логистической среде. В результате качество логистической среды в сфере доставки легковых автомобилей выйдет на более высокий качественный уровень, существенно превосходящий по своим параметрам и возможностям существующий.

2. Проведенный SWOT-анализ трех перевозочных технологий показал, что повышение качества функционирования логистической среды в сфере доставки легковых автомобилей может быть достигнуто за счет развития перевозок легковых автомобилей с использованием контейнерной технологии доставки.

Литература

1. Матюшин Л.Н. Перевозки крупнотоннажных контейнеров, автомобилей и полуприцепов в сообщении

Европа-Азия: справочник / Л.Н. Матюшин; под ред. В.С. Калининкова. – М.: Интекст, 1996. – 197 с.

2. Нечаева М.Н. Аналитические методы исследования логистической сферы доставки груза (легковых автомобилей) / М.Н. Нечаева, Л.Н. Матюшин // Логистика. – 2014. – № 10. – С. 59-64.

3. Местные технические условия размещения и крепления легковых автомобилей в 40 футовом универсальном контейнере, с использованием многооборотного средства крепления «Trans-rak» (3 машины) [Текст]: нормативный правовой документ. – М.: Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» № 2861р 30 декабря 2011 года.

References

1. Matjushin L.N. Perevozki krupnotonnazhnykh kontejnerov, avtomobilej i polupricepov v soobshhenii Evropa-Azija: spravochnik / L.N. Matjushin; pod red. V.S. Kalin-nikova. – M.: Intekst, 1996. – 197 p.

2. Nechaeva M.N. Analiticheskie metody issledovaniya logisticheskoy sfery dostavki gruzha (legkovykh avtomobilej) / M.N. Nechaeva, L.N. Matjushin // Logistika. – 2014. – № 10. – P. 59-64.

3. Mestnye tehicheskie uslovija razmeshhenija i krepnenija legkovykh avtomobilej v 40 futovom universal'nom kontejnere, s ispol'zovaniem mnogooborotnogo sredstva krepnenija «Trans-rak» (3 mashiny) [Tekst]: normativnyj pravovoj dokument. – M.: Utverzheny rasporjazheniem ОАО «RZhD» № 2861r 30 dekabrya 2011 goda.

Nikishkin Y.A., Tretyakova V.S., Kudinov Y.S.

ON THE CHOICE OF TRANSPORTATION TECHNOLOGIES FOR THE DELIVERY OF PASSENGER CARS

The article presents the results of a study of transportation technologies for the delivery of passenger cars to the consumer. The study of transportation technologies for the delivery of passenger cars to the consumer was conducted for three main transportation technologies using SWOT analysis, which showed the prospects for the application and further development of transportation of cars in high-capacity containers. In the new edition of Incoterms (2020), it is allowed to be guided by trade procedures not only in international trade, but also in domestic trade. In particular, in this case, the CIF (Cost Insurance and Freight) basic Terms

of delivery can be used / Cost, insurance and freight), and CIP (Carriage and Insurance Paid to), these are the rules that oblige the Seller to purchase insurance in favor of the Buyer for the export of goods. In the new version of Incoterms 2020, CIF terms of delivery, as previously in Incoterms 2010, require minimum insurance coverage.

Key words: *transportation technologies, delivery, passenger car, incoterms-2020, SWOT analysis, container.*

Никишкин Юрий Анатольевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: danko_ua@mail.ru

Nikishkin Yuri, candidate of technical sciences, docent of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Третьякова Виктория Сергеевна, ведущий инженер кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: mer.ideal@yandex.ua

Tretyakova Victoria, lead engineer of the «Transport Technologies» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Кудинов Юрий Сергеевич, студент 2 курса магистратуры направления подготовки «Интеллектуальные транспортные системы» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Kudinov Yuri, 2st year student of the master's degree in the direction of training «Intelligent transport systems» of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 11.05.2021

УДК 621.22: 621.694

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КЛАПАНОВ С ОДНОСТОРОННИМ ВЫХОДОМ С ОСЕВЫМ ДИФFUЗОРОМ И РАДИАЛЬНЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ

Сёмин Д. А., Левашов Я. Н., Гетманский Ю. А.

RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH ONE-WAY OUTLET WITH AXIAL DIFFUSER AND RADIAL POWER SUPPLY CHANNEL

Syomin D.A., Levashov Y. N., Hetmanski Y. A.

Приведены результаты математического и физического моделирования гидродинамики течения в вихревом клапане с односторонним выходом с осевым диффузором и радиальным каналом питания. Численное решение уравнений трехмерного турбулентного течения позволило установить кинематическую картину течения в клапане.

Экспериментально определена рабочая характеристика и основные параметры клапана.

Ключевые слова: вихревой клапан, односторонний выход, осевой диффузор, математическая модель течения, уравнение Рейнольдса, модель турбулентности, рабочая характеристика, коэффициент расхода, параметры записания.

Введение. Совершенствование гидравлических характеристик вихревых регулирующих органов является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить надежность и эффективность основанных на них устройств и систем управления мощными потоками жидкостей и газов, функционирующих в неблагоприятных условиях.

Эффективным конструктивным решением, позволяющим существенно снизить затраты среды и мощности на управление и запирание вихревого клапана, является использование подсоединенных к нему патрубков в виде диффузоров.

При этом возможно использование диффузоров различного типа, как с прямолинейными образующими, так и с более сложной криволинейной конфигурацией проточной части [3,4].

Вместе с тем, опыт проектирования и изготовления образцов вихревых макроклапанов, как правило в единичных экземплярах, с диффузорными патрубками диктует необходимость создания эффективных конструкций с максимально простыми формами проточной части [8,9,10]. Требования высокой эффективности и простоты формы являются взаимно противоречивыми,

поэтому возможны только компромиссные решения указанной задачи.

Целью работы является повышение пропускной способности вихревого клапана с односторонним выходом, путём исследования кинематики течения в нём.

Изложение основного материала.

В данной работе исследуется одна из возможных модификаций вихревого клапана, позволяющая увеличить пропускную его способность, при условии сохранения диаметра условного прохода. Это конструкция с односторонним выходом потока из вихревой камеры и осевым диффузором. Подвод потока питания в вихревую камеру осуществляется через радиальный канал питания (Рис.1). В вихревой камере одна часть потока огибает стабилизатор, выполненный в виде цилиндрического выступа на крышке,

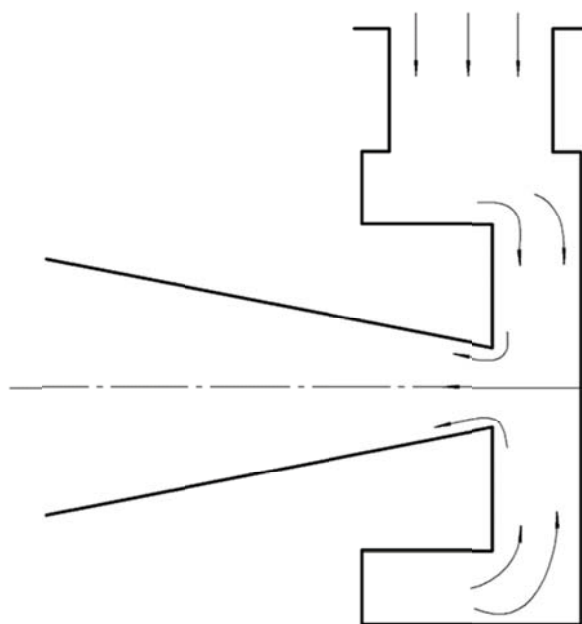


Рис.1. Схема проточной части ВК-РС-ДО и предполагаемого течения.

а затем течения направляется к выходному отверстию. Другая же часть потока, без изменения направления течет к выходному отверстию в крышке вихревой камеры. Перед выходом из камеры происходит воссоединение указанных частей потока.

Для снижения потерь кинетической энергии определяемой выходной скоростью, выходной канал выполнены в виде классического осевого диффузора с углом раскрытия 14° .

Использование в конструкции диффузора указанного типа позволяет использовать вихревой клапан для регулировки и перекрытия потока жидкости, содержащего твёрдые частицы величиной раной диаметру «горла» вихревого клапана.

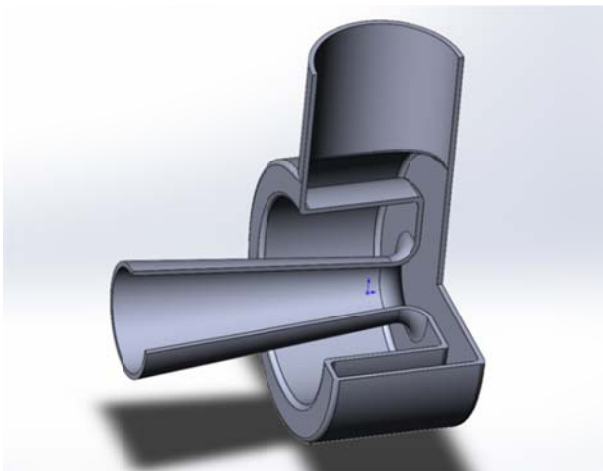


Рис.2. Твёрдотельная модель вихревого клапана с односторонним выходом с осевым диффузором и радиальным каналом питания ВК-РС-ДО

Для оценки эффективности вихревого клапана предложенной конструкции были выполнены исследования на математической и физической моделях течения в его проточной части.

Математическое моделирование пространственного течения в вихревом клапане осуществлено на основе уравнения Навье-Стокса, осредненного по Рейнольдсу для несжимаемой жидкости.

$$\rho \frac{d\bar{V}}{dt} = \rho \bar{F} + \text{Div}(\underline{\Pi} + \rho \bar{V}' \bar{V}')$$

обобщенной гипотезы Ньютона для напряжений в движущейся вязкой жидкости

$$\underline{\Pi} = 2\mu \underline{\dot{S}} - p\underline{E}$$

и уравнения неразрывности движения

$$\text{div} \bar{V} = 0$$

В основе моделирования турбулентности лежат гипотеза Буссинеска

$$\rho \bar{V}' \bar{V}' = 2\mu_t \underline{\dot{S}} - \rho k \underline{E}$$

и модель Ментера

$$\mu_t = f(k, \varepsilon, \omega)$$

В приведенных соотношениях:

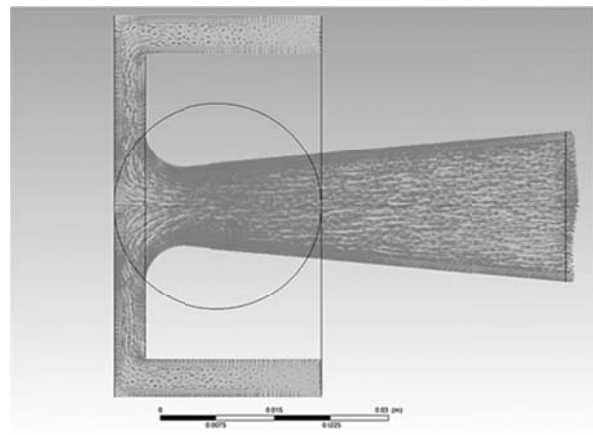
ρ - плотность жидкости; $\bar{V}, \bar{V}'$ - соответственно, осредненная и пульсационная компоненты актуальной скорости $\bar{V} = \bar{V} + \bar{V}'$; $\bar{F}$ - главный вектор массовых сил; $\underline{\Pi}$ - осредненный тензор напряжений; $\underline{p}$ - осредненное гидродинамическое давление в вязкой жидкости; μ_t - динамическая турбулентная вязкость;

$\underline{\dot{S}}$ - осредненный тензор деформаций; k - кинетическая энергия турбулентности; $\underline{E}$ - единичный тензор;

ε, ω - соответственно, скорость диссипации и удельная скорость диссипации кинетической энергии турбулентности.

Приведенная выше математическая модель, адаптированная для численного моделирования с указанием начальных и граничных условий подробно описана в статье «Математическое и физическое моделирование течений в вихревых клапанах», в этом же журнале. Численное интегрирование математической модели производилось в открытой интегрируемой платформе OpenFOAM. Расчётная сетка данной модели содержала 2307653 элементов. В пограничных слоях использовалась призматическая сетка, толщина призматического слоя 1 мм, количество призматических слоёв 6, скорость роста призматических слоёв 1,2. Во внутреннем объёме использовались ячейки в форме тетраэдра. Задача решалась в нестационарной постановке из предположения возможности отрывного течения в диффузорах и его нестационарности.

Время расчета на 2-х процессорной системе на основе процессоров Intel® Xeon® E5-2650 v2 с тактовой частотой 2,60 ГГц составило 81 час. Результаты расчетов в виде полей скорости в характерных сечениях проточной части клапана приведены ниже на рисунках.



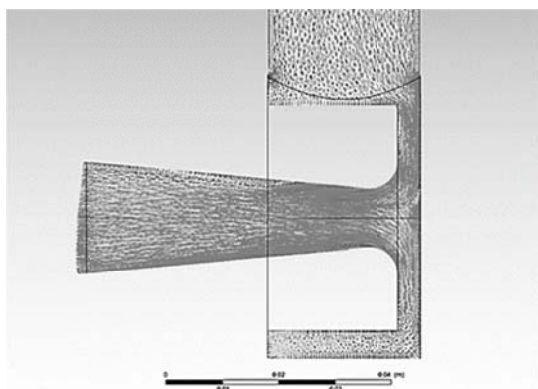


Рис.3. Расчетное поле скоростей в открытом вихревом клапане с односторонним выходом с осевым диффузором и радиальным каналом питания ВК-РС-ДО (выше вид со стороны подводящего патрубка)

Рис. 3 видно, что со стороны подводящего патрубка поле скоростей симметричное относительно горизонтальной и вертикальной осей. В плоскости подводящего патрубка (нижний рисунок) наблюдается заметная асимметрия поля скоростей относительно горизонтальной оси, из-за асимметрии расположения подводящего патрубка.

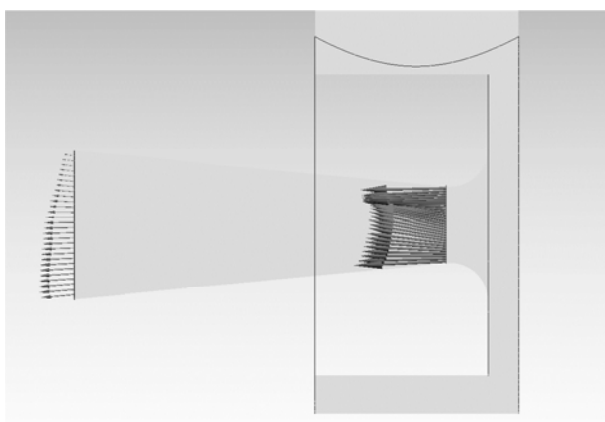
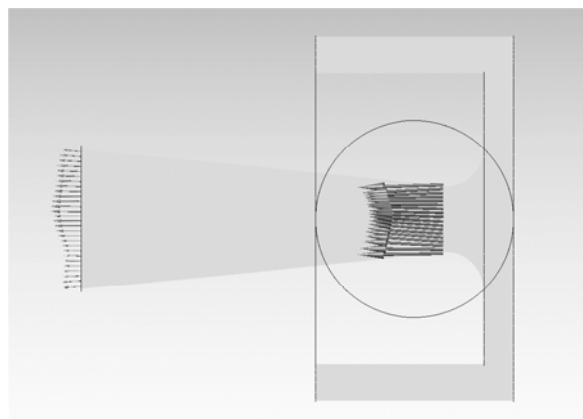


Рис.4. Распределение скоростей в проточной части ВК-РС-ДО (сверху вид со стороны подводящего патрубка)

На нижней части рисунка поле скоростей в «горле» клапана имеет наклон в сторону

противоположную входному патрубку. Вследствие этого, распределение скоростей на входе в диффузор неравномерно по радиусу, углу поворота.

На данном рисунке можно видеть равномерные эпюры скоростей на входе в диффузор, а также выходном сечении диффузора.

Отрыв потока можно отнести к нестационарному, т.к. расчет сходится при колебаниях среднего во времени расхода $Q_{so} = 0,0104 \text{ м}^3/\text{с}$. не превышающих 26%.

Значение приведенного коэффициента расхода в результате расчёта составило

$$\mu_{0\text{ clc}} = 1,65.$$

Физическое моделирование течения жидкости в вихревом клапане исследуемой конструкции ВК-Р-1ДО (см. рис. 5), позволило получить рабочую характеристику, которая представлена на рис. 6.

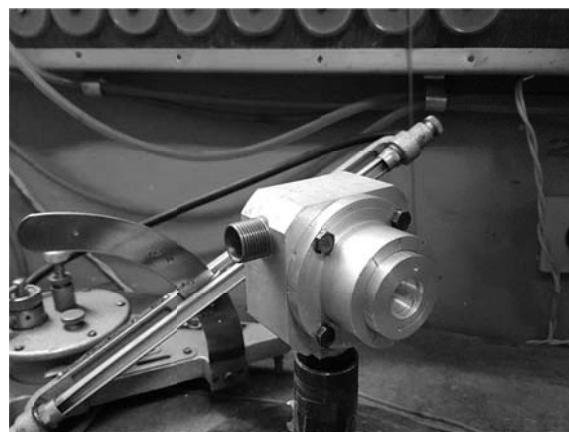


Рис. 5. Физическая модель клапана ВК-РС-ДО на экспериментальном стенде

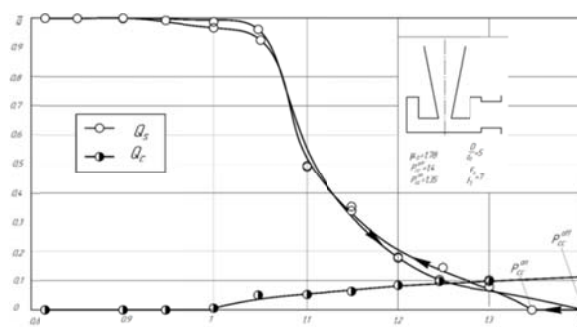


Рис.6. Рабочая характеристика вихревого клапана с односторонним выходом с осевым диффузором и радиальным каналом питания

Анализ полученных результатов математического моделирования и экспериментальных исследований вихревого клапана с односторонним выходом с радиальными диффузорами и радиальным каналом питания ВК-РС-ДО позволяет сделать следующие выводы.

Выводы.

1. Экспериментально установлено значение приведенного коэффициента расхода $\mu_0 = 1.78$, которое на 89% больше, чем у вихревого клапана базовой конструкции [8].

2. Экспериментальным путем получена рабочая характеристика клапана. Характеристика носит релейный характер с гистерезисом.

3. В результате эксперимента установлено, что давление записания $\bar{P}_{cc}^{off} = 1.4$ и давление открытия $\bar{P}_{cc}^{on} = 1.35$ выше, чем у клапана базовой конструкции ($P_{cc} = 1.25$) на 8%. Расход записания $\bar{Q}_{cc} = 0.095$, а у базового клапана $\bar{Q}_{cc} = 0.125$. Затраты мощности на записание $\bar{N}_{cc} = \bar{p}_{cc} \bar{Q}_{cc} = 1.35 \cdot 0.095 = 0.128$, что в пересчете на абсолютные значения (при одинаковой площади «горла») в 2.1 раза меньше по сравнению с базовым клапаном.

4. Экспериментально определенные рабочие параметры и характеристика вихревого клапана конструкции ВК-РС-ДО могут служить основанием для инженерных расчетов и проведения верификации математических моделей течения в клапане на различных режимах работы: “ON”, “OFF”, “ON-OFF”.

5. Оценка адекватности разработанной математической модели течения в вихревом клапане ВК-РС-ДО осуществлена по интегральному критерию – коэффициенту расхода клапана. Расчетное значение приведенного коэффициента расхода $\mu_{0\text{calc}} = 1.65$ и экспериментальное $\mu_{0\text{exp}} = 1.78$ отличаются не более чем на 8%, что можно признать вполне удовлетворительным.

6. По результатам математического моделирования удалось установить, что асимметрия расположения канала питания приводит к неравномерности распределения скорости в «горле» вихревого клапана. Вследствие этого диффузор работает не полным сечением. В данной конструкции удалось существенно приблизиться к максимально возможному значению коэффициента расхода $\mu_{0\text{max}} \rightarrow 2.5$ [4].

7. Для дальнейшего повышения коэффициента расхода необходимо выполнить специальное профилирование проточной части, обеспечивающее равномерный профиль скорости на входе в осевой диффузор, что представляет самостоятельную научную задачу.

Л и т е р а т у р а

1. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. / Андерсон Д., Тannehill Дж., Плетчер Р. // М.: Мир, 1990. - 384 с.
2. Гарбарук А. В., Стрелец М. Х., Шур М. Л. "Современные подходы к моделированию турбулентности", - СПб, Изд-во Политехн. ун-та, 2016. - 234 с.

3. Дейч М. Е., Зарянкин А. Е. Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин. - М.: Энергия, 1970. - 384 с.

4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение, 1975. - 560 с.

5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Дрофа, 2003. - 840 с.

6. Приходько А. А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене / Приходько А. А. // К.: Наукова думка. - 2003. - 380 с.

7. Роуч П. Вычислительная гидродинамика: Пер. с англ. / Роуч П. // М.: Мир, 1981. - 612 с.

8. Семин Д.А. Разработка и совершенствование характеристик крупномасштабных вихревых клапанов. Дисс. канд. техн. наук. Луганск, 1992, 203 с.

9. Сьомін Д.О. Вихрові виконавчі пристрої: В 2-х частинах. Ч.1 Однорідні робочі середовища: монографія. / Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Мальцев Я.І., Войцеховський С.В., Роговий А.С., Дмитрієнко Д.В., Мальцева М.О. - Луганськ: вид-во СЛУ ім. В.Даля, 2009. - 284 с.

10. Сьомін Д.О. Підвищення ефективності переміщення транспортування трубопровідним транспортом засобами струминної арматури: Дис. д-ра техн. наук: 22.05.12 Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. - Луганськ, 2004. - 381с.

11. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2х томах: Пер. с англ. / Флетчер К. // М.: Мир, 1991.

References

1. Anderson D. Computational hydromechanics and heat transfer: In 2 volumes. Vol. 1: Per. from English / Anderson D., Tannehill J., Pletcher R. // М.: Mir, 1990.- 384 p.

2. Garbaruk A. V., Strelets M. Kh., Shur M. L. "Modern approaches to turbulence modeling", - St. Petersburg, Polytechnic Institute. University, 2016. -- 234 p.

3. Deich ME, Zaryankin AE Gas dynamics of diffusers and exhaust pipes of turbomachines. - М.: Energy, 1970. -- 384 p.

4. Idelchik IE Handbook of hydraulic resistances. - М.: Mechanical Engineering, 1975. -- 560 p.

5. Loytsyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. - М.: Bustard, 2003. -- 840 p.

6. Prihodko AA Computer technologies in aerohydrodynamics and heat and mass transfer / Prihodko AA // К.: Naukova dumka. - 2003. -- 380 p.

7. Roach P. Computational fluid dynamics: Per. from English / Roach P. // М.: Mir, 1981.- 612 p.

8. Semin D.A. Development and improvement of the characteristics of large-scale vortex valves. Diss. Cand. tech. sciences. Lugansk, 1992, 203 p.

9. Somin D.O. Vortex viconavchy annexes: In 2 parts. Part 1 Monograph. / Somin D.O., Pavlyuchenko V.O., Maltsev Ya.I., Voytsekhovskiy S.V., Rogovy A.S., Dmitriyenko D.V., Maltseva M.O. - Lugansk: view of SNU im. Dahl, 2009. -- 284 p.

10. Somin D.O. Advancing the efficiency of shifting vantages by pipeline transport using string fittings: Dis. Dr. tech. Sciences: 05.22.12 / Skhidnoukrainskiy national un-t im. Volodymyr Dahl. - Luhansk, 2004. -- 381с.

11. Fletcher K. Computational methods in fluid dynamics: In 2 volumes: Per. from English / Fletcher K. // М.: Mir, 1991.

Syomin D.A., Levashov Y. N., Hetmanski Y. A.
RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH ONE-WAY OUTLET WITH AXIAL DIFFUSER AND RADIAL POWER SUPPLY CHANNEL

The results of mathematical and physical modeling of flow hydrodynamics in a vortex valve with a one-way outlet with an axial diffuser and a radial supply channel are presented. The numerical solution of the equations of three-dimensional turbulent flow made it possible to establish the kinematic picture of the flow in the valve.

The operating characteristic and the main parameters of the valve have been experimentally determined.

Key words: vortex valve, one-way outlet, axial diffuser, mathematical model of flow, Reynolds equation, turbulence model, operating characteristic, flow coefficient, blocking parameters.

Сёмин Дмитрий Александрович, д.т.н. профессор кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск
E-mail: sdaa261@ukr.net

Syomin Dmitry Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences Professor of the department "Applied Mathematics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Левашов Ярослав Николаевич, ассистент кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: xpioneerx@mail.ru

Levashov Yaroslav Nikolayevich, assistant of the Department of «Applied Mathematics», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Гетманский Юрий Андреевич, студент группы ИТ-791м кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Hetmanski Yuri Andreevich, student of the IT-791m group of the Department "Applied Mathematics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени В. Даля»

Статья подана 6.05.2021

УДК 621.22: 621.694

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КЛАПАНОВ С ОДНОСТОРОННИМ ВЫХОДОМ С РАДИАЛЬНЫМ ДИФфуЗОРОМ И РАДИАЛЬНЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ

Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Мирошник И.В.

RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH ONE-WAY OUTLET WITH A RADIAL DIFFUSER AND A RADIAL POWER SUPPLY CHANNEL

Syomin D.A., Levashov Y.N., Miroshnichenko I.V.

Приведены результаты математического и физического моделирования гидродинамики течения в вихревом клапане с односторонним выходом с радиальным диффузором и радиальным каналом питания. Численное решение уравнений трехмерного турбулентного течения позволило установить кинематическую картину течения в клапане.

Экспериментально определена рабочая характеристика и основные параметры клапана.

Ключевые слова: вихревой клапан, односторонний выход, радиальный диффузор, математическая модель течения, уравнение Рейнольдса, модель турбулентности, рабочая характеристика, коэффициент расхода, параметры записания.

Введение. Совершенствование гидравлических характеристик вихревых регулирующих органов является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить надежность и эффективность основанных на них устройств и систем управления мощными потоками жидкостей и газов, функционирующих в неблагоприятных условиях.

Эффективным конструктивным решением, позволяющим существенно снизить затраты среды и мощности на управление и запирание вихревого клапана, является использование подсоединенных к нему патрубков в виде диффузоров.

При этом возможно использование диффузоров различного типа, как с прямолинейными образующими, так и с более сложной криволинейной конфигурацией проточной части [3, 4].

Вместе с тем, опыт проектирования и изготовления образцов вихревых макроклапанов, как правило в единичных экземплярах, с диффузорными патрубками диктует необходимость создания эффективных конструкций с максимально простыми формами проточной части [8,9,10]. Требования высокой эффективности и простоты формы являются взаимно противоречивыми,

поэтому возможны только компромиссные решения указанной задачи.

Целью работы является повышение пропускной способности вихревого клапана с односторонним выходом, путём исследования кинематики течения в нём.

Изложение основного материала. В данной работе исследуется одна из возможных модификаций вихревого клапана, позволяющая увеличить пропускную его способность, при условии сохранения диаметра условного прохода. Это конструкция с односторонним выходом потока из вихревой камеры и радиальным диффузором. Подвод потока питания в вихревую камеру осуществляется через радиальный канала питания (Рис.1).

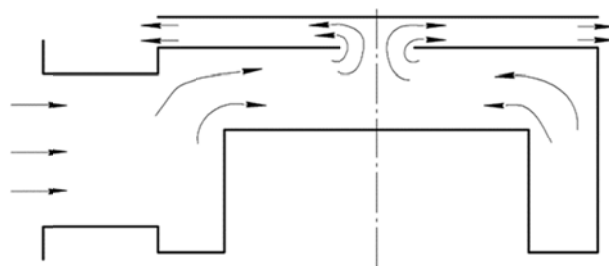


Рис.1. Схема проточной части ВК-РС-ДР и предполагаемого течения.

В вихревой камере одна часть потока огибает стабилизатор, выполненный в виде цилиндрического выступа на крышке, а затем течения направляется к выходному отверстию. Другая же часть потока, без изменения направления течет к выходному отверстию в крышке вихревой камеры. Для снижения потерь кинетической энергии определяемой выходной скоростью, выходной канал выполнены в виде плоского радиального диффузора с постоянной высотой.

Использование в конструкции диффузора указанного типа позволяет существенно уменьшить

осевые габариты клапана, по сравнению с модификацией имеющей осевой диффузор.

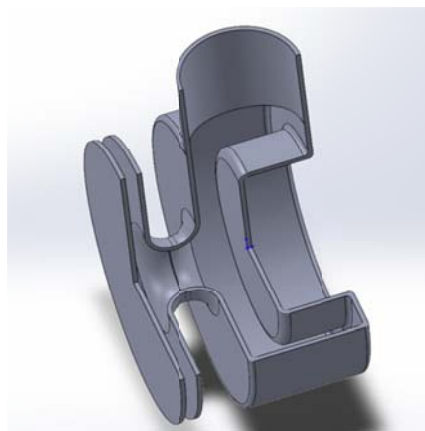


Рис.2. Твёрдотельная модель вихревого клапана с односторонним выходом с радиальным диффузором и радиальным каналом питания ВК-РС-ДР

Для оценки эффективности вихревого клапана предложенной конструкции были выполнены исследования на математической и физической моделях течения в его проточной части.

Математическое моделирование пространственного течения в вихревом клапане осуществлено на основе уравнения Навье-Стокса, осредненного по Рейнольдсу для несжимаемой жидкости.

$$\rho \frac{d\bar{V}}{dt} = \rho \bar{F} + \text{Div}(\underline{\Pi} + \rho \bar{V}' \bar{V}')$$

обобщенной гипотезы Ньютона для напряжений в движущейся вязкой жидкости

$$\underline{\Pi} = 2\mu \underline{\dot{S}} - p\underline{E}$$

и уравнения неразрывности движения

$$\text{div} \bar{V} = 0$$

В основе моделирования турбулентности лежат гипотеза Буссинеска

$$\rho \bar{V}' \bar{V}' = 2\mu_t \underline{\dot{S}} - \rho k \underline{E}$$

и модель Менгера

$$\mu_t = f(k, \varepsilon, \omega)$$

В приведенных соотношениях:

ρ - плотность жидкости; $\bar{V}$, $\bar{V}'$ - соответственно, осредненная и пульсационная компоненты актуальной скорости $\bar{V} = \bar{V} + \bar{V}'$; $\bar{F}$ - главный вектор массовых сил; $\underline{\Pi}$ - осредненный тензор напряжений; $\underline{p}$ - осредненное гидродинамическое давление в вязкой жидкости; μ_t - динамическая турбулентная вязкость; $\underline{\dot{S}}$ - осредненный тензор деформаций; k - кинетическая энергия турбулентности; E - единичный тензор;

ε, ω - соответственно, скорость диссипации и удельная скорость диссипации кинетической энергии турбулентности.

Приведенная выше математическая модель, адаптированная для численного моделирования с указанием начальных и граничных условий подробно описана в статье «Математическое и физическое моделирование течений в вихревых клапанах», в этом же журнале. Численное интегрирование математической модели производилось в открытой интегрируемой платформе OpenFOAM. Расчётная сетка данной модели содержала 11887716 элементов.

В пограничных слоях использовалась призматическая сетка, толщина призматического слоя 0,5 мм, количество призматических слоёв 5, скорость роста призматических слоёв 1,1. Во внутреннем объёме использовались ячейки в форме тетраэдра. Задача решалась в стационарной постановке.

Время расчета на 2-х процессорной системе на основе процессоров Intel® Xeon® E5-2650 v2 с тактовой частотой 2,60 ГГц составило 20 часов. Результаты расчетов в виде полей скорости в характерных сечениях проточной части клапана приведены ниже на рисунках.

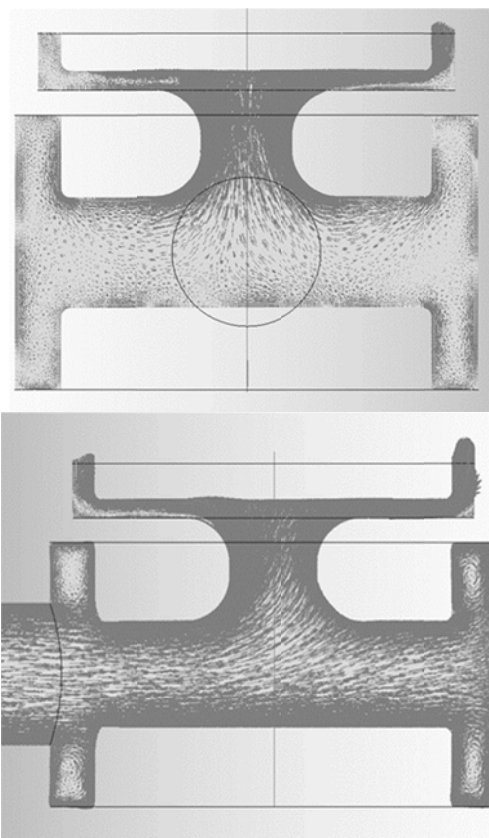


Рис.3. Расчетное поле скоростей в открытом вихревом клапане с односторонним выходом с радиальным диффузором и радиальным каналом питания ВК-РС-ДР (сверху вид со стороны подводящего патрубка)

Из рис. 3 видно, что со стороны подводящего патрубка поле скоростей асимметричное относительно вертикальной оси. В плоскости подводящего патрубка (нижний рисунок) так же наблюдается заметная асимметрия поля скоростей относительно вертикальной оси, из-за асимметрии расположения подводящего патрубка.

Неравномерное распределение скорости по высоте в радиальном диффузоре объясняется тем, что после поворота поток вследствие инерции поджимается к диску, на который он набегает.

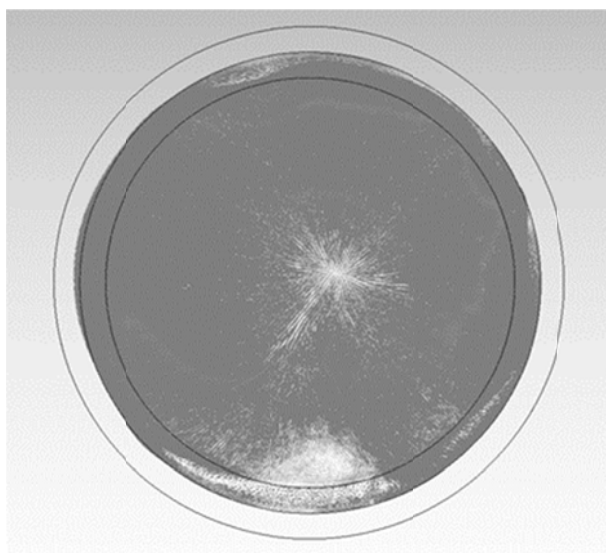
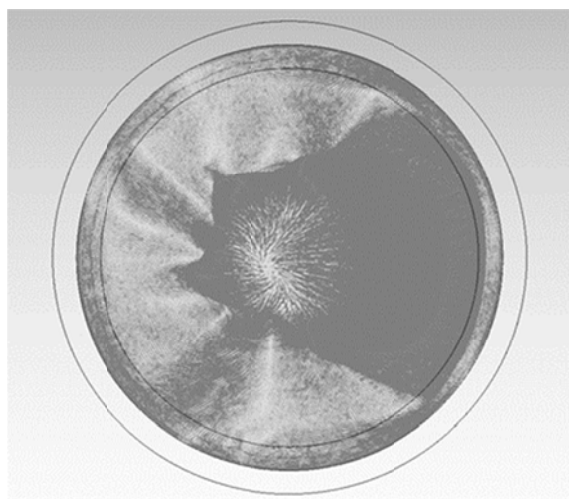


Рис.4. Расчетное поле скоростей в радиальном диффузоре (см. Рис.3) вблизи поверхности верхнего (снизу) и нижнего (сверху) дисков

На нижней части рисунка 4 видно, что поле скоростей по радиусу и углу поворота обладает незначительной асимметрией. Поток поджат к диску, на который он набегает. Для верхней части характерна существенная асимметрия поля скоростей, распределение скорости по радиусу и углу поворота в диффузоре неравномерное. Поток

претерпевает отрыв практически от всей поверхности нижнего диска.

На верхней части рисунка 5 поле скоростей в «горле» клапана имеет наклон в сторону противоположную входному патрубку. Вследствие этого, распределение скоростей на входе в диффузор неравномерно по радиусу, углу поворота.

Это обуславливает отчетливо видимое неравномерное распределение скорости по радиусу и высоте диффузора и отрыв потока от диска, расположенного ближе к вихревой камере.

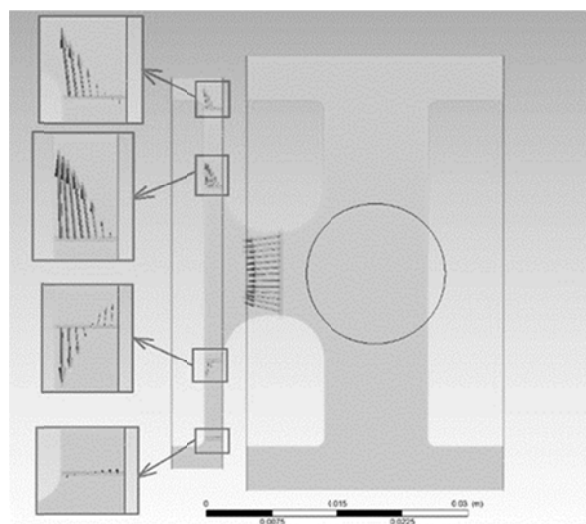
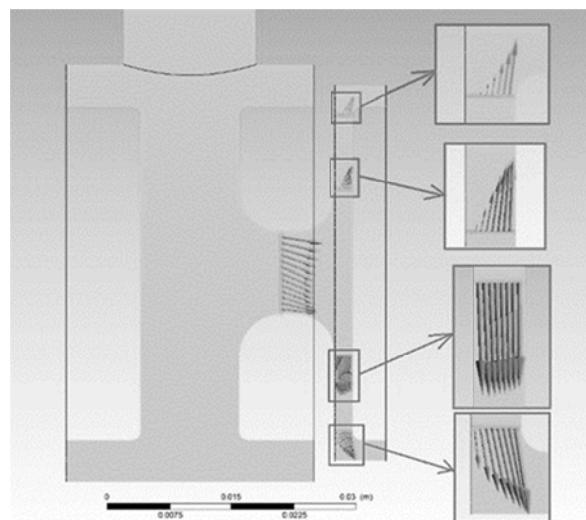


Рис.5. Распределение скоростей в проточной части ВК-РС-ДР (снизу вид со стороны подводящего патрубка)

Значение приведенного коэффициента расхода в результате расчёта составило величину.

$$\mu_{0 clc} = 1,36.$$

Физическое моделирование течения жидкости в вихревом клапане исследуемой конструкции ВК-РС-ДР (см. рис. 6), позволило получить рабочую характеристику, которая представлена на рис. 7.

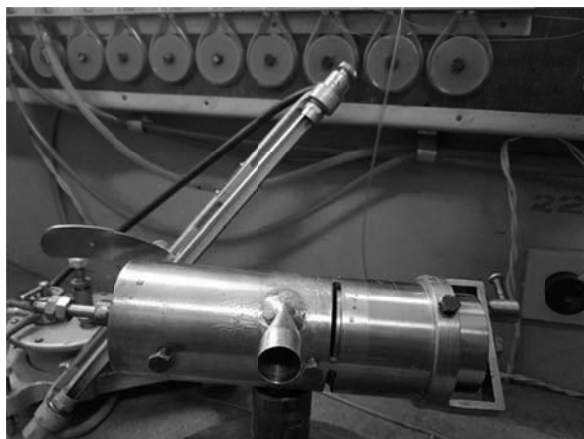


Рис. 6. Физическая модель клапана ВК-РС-ДР на экспериментальном стенде

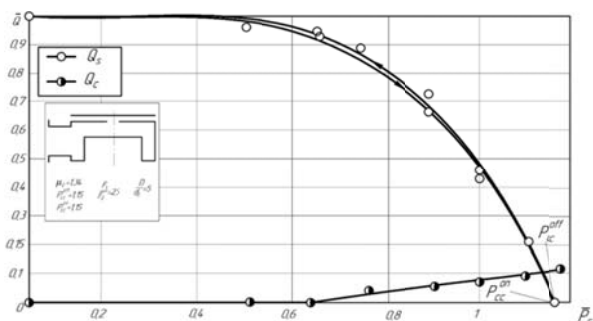


Рис. 7. Рабочая характеристика вихревого клапана с односторонним выходом с радиальным диффузором и радиальным каналом питания

Анализ полученных результатов математического моделирования и экспериментальных исследований вихревого клапана с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и радиальным каналом питания ВК-РС-ДР позволяет сделать следующие выводы.

Выводы.

1. Экспериментально установлено значение приведенного коэффициента расхода, которое на 42% больше, чем у вихревого клапана базовой конструкции [8].

2. Экспериментальным путем получена рабочая характеристика клапана. Характеристика имеет аналоговый характер без гистерезиса.

3. В результате эксперимента установлено, что давление запирания $\bar{P}_{cc}^{off} = \bar{P}_{cc}^{on} = 1,15$ ниже, чем у клапана базовой конструкции ($P_{cc} = 1,25$) на 8,7%. Расход запирания $\bar{Q}_{cc} = 0,105$ а у базового клапана $\bar{Q}_{cc} = 0,125$. Затраты мощности на запирание $\bar{N}_{cc} = \bar{p}_{cc} \bar{Q}_{cc} = 1,15 \cdot 0,105 = 0,121$, что в пересчете на абсолютные значения (при одинаковой площади «горла») в 1,7 раза меньше по сравнению с базовым клапаном.

4. Экспериментально определенные рабочие параметры и характеристика вихревого клапана

конструкции ВК-РС-ДР могут служить основанием для инженерных расчетов и проведения верификации математических моделей течения в клапане на различных режимах работы: “ON”, “OFF”, “ON-OFF”.

5. Оценка адекватности разработанной математической модели течения в вихревом клапане ВК-РС-ДР осуществлена по интегральному критерию – коэффициенту расхода клапана. Расчетное значение приведенного коэффициента расхода $\mu_{0\,clc} = 1,36$ и экспериментальное $\mu_{0\,exp} = 1,34$ отличаются не более чем на 2%, что можно признать хорошим.

6. По результатам математического моделирования удалось установить, что асимметрия расположения канала питания приводит к неравномерности распределения скорости в «горле» вихревого клапана, по радиусу и углу поворота в диффузоре. Вследствие этого диффузор работает не полным сечением, с отрывом потока от стенки, прилегающей к вихровой камере. В данной конструкции удалось приблизиться к максимально возможному значению коэффициента расхода $\mu_{0\,max} \rightarrow 2,5$ [4].

7. Для дальнейшего повышения коэффициента расхода необходимо выполнить специальное профилирование проточной части, обеспечивающее равномерный профиль скорости на входе в радиальный диффузор, что представляет самостоятельную научную задачу.

Литература

- Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. / Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. // М.: Мир, 1990. - 384 с.
- Гарбарук А. В., Стрелец М. Х., Шур М. Л. "Современные подходы к моделированию турбулентности", - СПб, Изд-во Политехн. ун-та, 2016. - 234 с.
- Дейч М. Е., Зарянкин А. Е. Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин. - М.: Энергия, 1970. - 384 с.
- Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение, 1975. - 560 с.
- Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Дрофа, 2003. - 840 с.
- Приходько А. А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене / Приходько А. А. // К.: Наукова думка. - 2003. - 380 с.
- Роуч П. Вычислительная гидродинамика: Пер. с англ. / Роуч П. // М.: Мир, 1981. - 612 с.
- Сёмин Д.А. Разработка и совершенствование характеристик крупномасштабных вихревых клапанов. Дисс. канд. техн. наук. Луганск, 1992, 203 с.
- Сьомін Д.О. Вихрові виконавчі пристрої: В 2-х частинах. Ч.1 Однорідні робочі середовища: монографія. / Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Мальцев Я.І., Войцеховський С.В., Роговий А.С., Дмитрієнко Д.В., Мальцева М.О. - Луганськ: вид-во СЛУ ім. В.Даля, 2009. - 284 с.

10. Сьомін Д.О. Підвищення ефективності переміщення транспортування трубопровідним транспортом засобами струминної арматури: Дис. д-ра техн. наук: 22.05.12 Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. - Луганськ, 2004. - 381с.

11. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2х томах: Пер. с англ. / Флетчер К. // М.: Мир, 1991.

References

1. Anderson D. Computational hydromechanics and heat transfer: In 2 volumes. Vol. 1: Per. from English / Anderson D., Tannehill J., Pletcher R. // М.: Mir, 1990.- 384 p.

2. Garbaruk A. V., Strelets M. Kh., Shur M. L. "Modern approaches to turbulence modeling", - St. Petersburg, Polytechnic Institute. University, 2016. -- 234 p.

3. Deich ME, Zaryankin AE Gas dynamics of diffusers and exhaust pipes of turbomachines. - М.: Energy, 1970. -- 384 p.

4. Idelchik IE Handbook of hydraulic resistances. - М.: Mechanical Engineering, 1975. -- 560 p.

5. Loytsyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. - М.: Bustard, 2003. -- 840 p.

6. Prikhodko AA Computer technologies in aerohydrodynamics and heat and mass transfer / Prikhodko AA // К.: Naukova dumka. - 2003. - 380 p.

7. Roach P. Computational fluid dynamics: Per. from English / Roach P. // М.: Mir, 1981.- 612 p.

8. Semin D.A. Development and improvement of the characteristics of large-scale vortex valves. Diss. Cand. tech. sciences. Lugansk, 1992, 203 p.

9. Somin D.O. Vortex viconavchy annexes: In 2 parts. Part 1 Monograph. / Somin D.O., Pavlyuchenko V.O., Maltsev Ya.I., Voytsekhovskiy S.V., Rogovy A.S., Dmitriynko D.V., Maltseva M.O. - Lugansk: view of SNU im. Dahl, 2009. -- 284 p.

10. Somin D.O. Advancing the efficiency of shifting vantages by pipeline transport using string fittings: Dis. Dr. tech. Sciences: 05.22.12 / Skhidnoukraïnskiy national un-t im. Volodymyr Dahl. - Luhansk, 2004. -- 381с.

11. Fletcher K. Computational methods in fluid dynamics: In 2 volumes: Per. from English / Fletcher K. // М.: Mir, 1991.

Syomin D.A., Levashov Y. N., Miroshnichenko I. V.
RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH ONE-WAY OUTLET WITH A RADIAL DIFFUSER AND A RADIAL POWER SUPPLY CHANNEL

The results of mathematical and physical modeling of flow hydrodynamics in a vortex valve with a one-way outlet with a radial diffuser and a radial supply channel are presented. The numerical solution of the equations of three-dimensional turbulent flow made it possible to establish the kinematic picture of the flow in the valve.

The operating characteristic and the main parameters of the valve have been experimentally determined.

Key words: vortex valve, one-way outlet, radial diffuser, mathematical model of flow, Reynolds equation, turbulence model, performance characteristic, flow coefficient, shut-off parameters.

Сємин Дмитрий Александрович, д.т.н. профессор кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск
E-mail: sdaa261@ukr.net

Syomin Dmitry Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences Professor of the department " Applied Mathematics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Левашов Ярослав Николаевич, ассистент кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: xpioneerx@mail.ru

Levashov Yaroslav Nikolayevich, assistant of the Department of «Applied Mathematics», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Мирошніченко Іван Валентинович, студент групи ІТ-791м кафедри «Прикладна математика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганський державний університет імені Володимира Дала», г. Луганськ.

Miroshnichenko Ivan Valentinovich, student of the IT-791m group of the Department "Applied Mathematics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени В. Даля»

Статья подана 6.05.2021

УДК 621.22: 621.694

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КЛАПАНОВ С ОДНОСТОРОННИМ ВЫХОДОМ С РАДИАЛЬНЫМ ДИФфуЗОРОМ И ОСЕВЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ

Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Педан П.Г.

RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH ONE-WAY OUTLET WITH A RADIAL DIFFUSER AND AXIAL POWER SUPPLY CHANNEL

Syomin D.A., Levashov Y.N., Pedan P.G.

Приведены результаты математического и физического моделирования гидродинамики течения в вихревом клапане с односторонним выходом с радиальным диффузором и осевым каналом питания. Численное решение уравнений трехмерного турбулентного течения позволило установить кинематическую картину течения в клапане.

Экспериментально определена рабочая характеристика и основные параметры клапана.

Ключевые слова: вихревой клапан, односторонний выход, радиальный диффузор, математическая модель течения, уравнение Рейнольдса, модель турбулентности, рабочая характеристика, коэффициент расхода, параметры записания.

Введение. Совершенствование гидравлических характеристик вихревых регулирующих органов является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить надежность и эффективность основанных на них устройств и систем управления мощными потоками жидкостей и газов, функционирующих в неблагоприятных условиях.

Эффективным конструктивным решением, позволяющим существенно снизить затраты среды и мощности на управление и запирание вихревого клапана, является использование подсоединенных к нему патрубков в виде диффузоров.

При этом возможно использование диффузоров различного типа, как с прямолинейными образующими, так и с более сложной криволинейной конфигурацией проточной части [3,4].

Вместе с тем, опыт проектирования и изготовления образцов вихревых макроклапанов, как правило в единичных экземплярах, с диффузорными патрубками диктует необходимость создания эффективных конструкций с максимально простыми формами проточной части [8,9,10]. Требования высокой эффективности и простоты формы являются взаимно противоречивыми,

поэтому возможны только компромиссные решения указанной задачи.

Целью работы является повышение пропускной способности вихревого клапана с односторонним выходом, путём исследования кинематики течения в нём.

Изложение основного материала. В данной работе исследуется одна из возможных модификаций вихревого клапана, позволяющая увеличить пропускную его способность, при условии сохранения диаметра условного прохода. Это конструкция с односторонним выходом потока из вихревой камеры и радиальным диффузором. Подвод потока питания в вихревую камеру осуществляется через осевой канала питания (Рис.1). Предполагается, что осесимметричная конструкция должна обеспечить равномерное распределение скорости на входе в диффузор и безотрывное течение в нём. К клапану поток подаётся через осевой подвод, и затем через кольцевой, осевой канал питания поступает в вихревую камеру. Затем течение направляется к выходному отверстию и далее проходя через радиальный диффузор попадает в атмосферу.

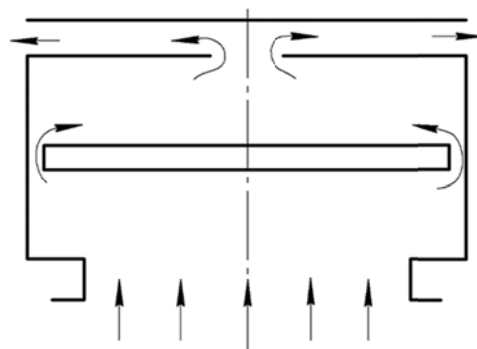


Рис.1. Схема проточной части ВК-О-ДР и предполагаемого течения.

Диффузор позволяет снизить потери кинетической энергии определяемой выходной скоростью. Использование в конструкции диффузора указанного типа позволяет существенно уменьшить осевые габариты клапана, по сравнению с модификацией имеющей осевой диффузор.



Рис.2. Твёрдотельная модель вихревого клапана с односторонним выходом с радиальным диффузором и осевым каналом питания ВК-О-ДР

Для оценки эффективности вихревого клапана предложенной конструкции были выполнены исследования на математической и физической моделях течения в его проточной части.

Математическое моделирование пространственного течения в вихревом клапане осуществлено на основе уравнения Навье-Стокса, осредненного по Рейнольдсу для несжимаемой жидкости.

$$\rho \frac{d\bar{V}}{dt} = \rho \bar{F} + Div(\underline{\Pi} + \rho \bar{V}' \bar{V}')$$

обобщенной гипотезы Ньютона для напряжений в движущейся вязкой жидкости

$$\underline{\Pi} = 2\mu \dot{\underline{S}} - p\mathbf{E}$$

и уравнения неразрывности движения

$$div \bar{V} = 0$$

В основе моделирования турбулентности лежат гипотеза Буссинеска

$$\rho \bar{V}' \bar{V}' = 2\mu_t \dot{\underline{S}} - \rho k \mathbf{E}$$

и модель Ментера

$$\mu_t = f(k, \varepsilon, \omega)$$

В приведенных соотношениях:

ρ - плотность жидкости; $\bar{V}, \bar{V}'$ - соответственно, осредненная и пульсационная компоненты актуальной скорости $\bar{V} = \bar{V} + \bar{V}'$; $\bar{F}$ - главный вектор массовых сил; $\underline{\Pi}$ - осредненный тензор напряжений; $\underline{P}$ - осредненное гидродинамическое давление в вязкой жидкости; μ_t - динамическая турбулентная вязкость;

$\dot{\underline{S}}$ - осредненный тензор деформаций; k - кинетическая энергия турбулентности; $\mathbf{E}$ - единичный тензор;

ε, ω - соответственно, скорость диссипации и удельная скорость диссипации кинетической энергии турбулентности.

Приведенная выше математическая модель, адаптированная для численного моделирования с указанием начальных и граничных условий подробно описана в статье «Математическое и физическое моделирование течений в вихревых клапанах», в этом же журнале. Численное интегрирование математической модели производилось в открытой интегрируемой платформе OpenFOAM. Расчётная сетка данной модели содержала 2372800 элементов. В пограничных слоях использовалась призматическая сетка, толщина призматического слоя 0,4 мм, количество призматических слоёв 6, скорость роста призматических слоёв 1,3. Во внутреннем объёме использовались ячейки в форме тетраэдра. Задача решалась в стационарной постановке.

Время расчета на 2-х процессорной системе на основе процессоров Intel® Xeon® E5-2650 v2 с тактовой частотой 2,60 ГГц составило 5 часов. Результаты расчетов в виде полей скорости в характерных сечениях проточной части клапана приведены ниже на рисунках.

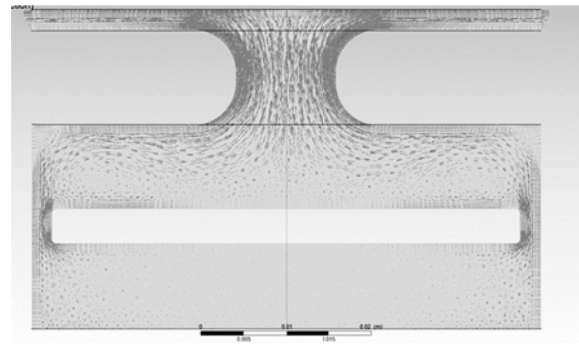


Рис.3. Расчетное поле скоростей в открытом вихревом клапане с односторонним выходом с радиальным диффузором и осевым каналом питания ВК-О-ДР

Из рис.3 видно, что поле скоростей симметрично относительно вертикальной оси, так как в данной модификации имеет осевой канал питания. Неравномерное распределение скорости по высоте в радиальном диффузоре объясняется тем, что после поворота поток вследствие инерции поджимается к диску, на который он набегаёт.

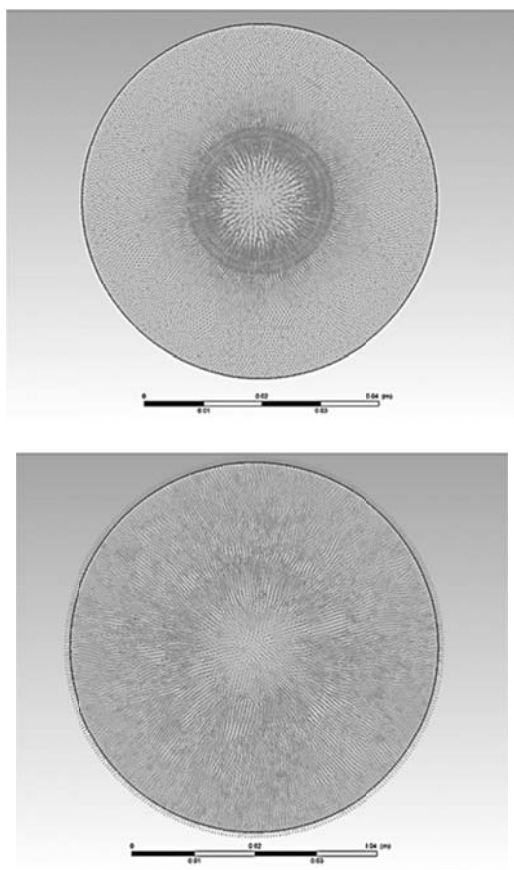


Рис.4. Расчетное поле скоростей в радиальном диффузоре вблизи поверхности верхнего (снизу) и нижнего (сверху) дисков

На правой части рисунка 4 видно, что поле скоростей по радиусу и углу поворота обладает симметрией. Поток поджат к диску, на который он набегаёт. Для верхней части рисунка так же характерна симметрия поля скоростей, однако скорость движения потока у нижнего диска (расположенного ближе к вихревому клапану) существенно ниже.

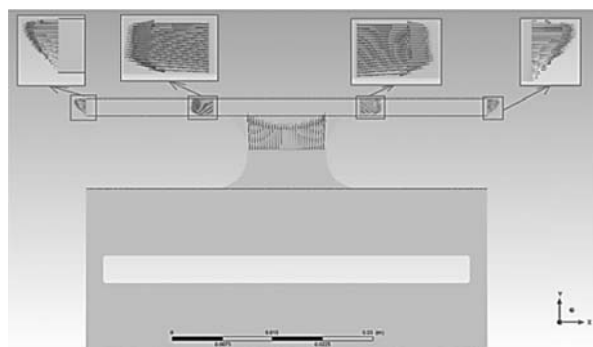


Рис.5. Распределение скоростей в проточной части клапана ВК-О-ДР

На рисунке 5 можно видеть симметричную относительно вертикальной оси кинематическую картину течения. Неравномерное распределение скорости по высоте в радиальном диффузоре

объясняется тем, что после поворота поток вследствие инерции поджимается к диску, на который он набегаёт.

Величина приведенного коэффициента расхода в результате расчёта составила значение

$$\mu_{0\text{clc}} = 2,07.$$

Физическое моделирование течения жидкости в вихревом клапане исследуемой конструкции (см. рис. 6), позволило получить рабочую характеристику, которая представлена на рис. 7.

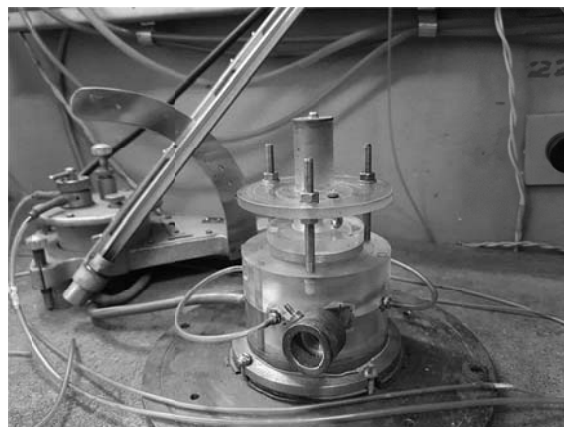


Рис. 6. Физическая модель клапана ВК-О-ДР на экспериментальном стенде

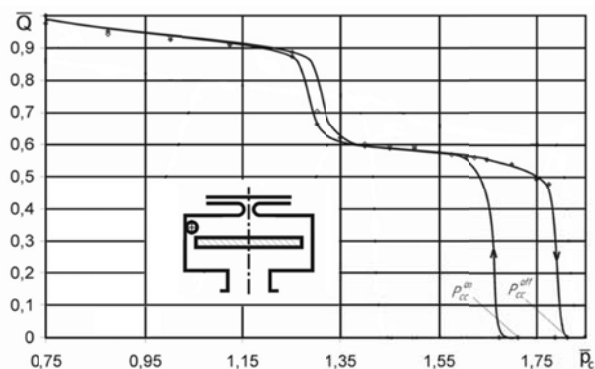


Рис.7. Рабочая характеристика вихревого клапана с односторонним выходом с радиальным диффузором и осевым каналом питания

Анализ полученных результатов математического моделирования и экспериментальных исследований вихревого клапана ВК-О-ДР с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и радиальным каналом питания позволяет сделать следующие выводы.

Выводы.

1. Экспериментально установлено значение приведенного коэффициента расхода для вихревого клапана данной конструкции $\mu_0 = 1,91$, которое на 100% больше, чем у вихревого клапана базовой конструкции [8].

2. Экспериментальным путем получена рабочая характеристика клапана. Характеристика носит релейный характер с гистерезисом.

3. В результате проведенных исследований установлены значения давления записания $\bar{P}_{cc}^{off}=1,8$ и давления открытия $\bar{P}_{cc}^{on}=1,7$

4. Экспериментально определенные рабочие параметры и характеристика вихревого клапана конструкции ВК-О-ДР могут служить основанием для инженерных расчетов и проведения верификации математических моделей течения в клапане на различных режимах работы: "ON", "OFF", "ON-OFF".

5. Оценка адекватности разработанной математической модели течения в вихревом клапане ВК-О-ДР осуществлена по интегральному критерию – коэффициенту расхода клапана. Расчетное значение приведенного коэффициента расхода $\mu_{0\text{calc}} = 2,07$ и экспериментальное $\mu_{0\text{exp}} = 1,91$ отличаются менее чем на 8%.

6. По результатам математического моделирования удалось установить, что при входе в радиальный диффузор (после поворота) поток поджигается, к диску на который он набегает. Вследствие этого диффузор работает не полным сечением, скорость потока у стенки, прилегающей к вихревой камере значительно ниже, чем у внешней стенки диффузора. В данной конструкции удалось существенно приблизиться к максимально возможному значению коэффициента расхода $\mu_{0\text{max}} \rightarrow 2.5$ [4].

7. Для дальнейшего повышения коэффициента расхода необходимо выполнить специальное профилирование проточной части, обеспечивающее равномерный профиль скорости на входе в радиальный диффузор, что представляет самостоятельную научную задачу.

Л и т е р а т у р а

1. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. / Андерсон Д., Тannehill Дж., Плетчер Р. // М.: Мир, 1990. - 384 с.
2. Гарбарук А. В., Стрелец М. Х., Шур М. Л. "Современные подходы к моделированию турбулентности", - СПб, Изд-во Политехн. ун-та, 2016. - 234 с.
3. Дейч М. Е., Зарянкин А. Е. Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин. - М.: Энергия, 1970. - 384 с.
4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение, 1975. - 560 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Дрофа, 2003. - 840 с.
6. Приходько А. А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене / Приходько А. А. // К.: Наукова думка. - 2003. - 380 с.
7. Роуч П. Вычислительная гидродинамика: Пер. с англ. / Роуч П. // М.: Мир, 1981. - 612 с.
8. Сёмин Д.А. Разработка и совершенствование характеристик крупномасштабных вихревых клапанов. Дисс. канд. техн. наук. Луганск, 1992, 203 с.
9. Сьомін Д.О. Вихрові виконавчі пристрої: В 2-х частинах. Ч.1 Однорідні робочі середовища: монографія. / Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Мальцев Я.І.,

Войцеховський С.В., Роговий А.С., Дмитрієнко Д.В., Мальцева М.О. - Луганськ: вид-во СЛУ ім. В.Даля, 2009. - 284 с.

10. Сьомін Д.О. Підвищення ефективності переміщення транспортування трубопровідним транспортом засобами струминної арматури: Дис. д-ра техн. наук: 22.05.12 Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. - Луганськ, 2004. - 381с.

11. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2х томах: Пер. с англ. / Флетчер К. // М.: Мир, 1991.

R e f e r e n c e s

1. Anderson D. Computational hydromechanics and heat transfer: In 2 volumes. Vol. 1: Per. from English / Anderson D., Tannehill J., Pletcher R. // М.: Мир, 1990.- 384 p.
2. Garbaruk A. V., Strelets M. Kh., Shur M. L. "Modern approaches to turbulence modeling", - St. Petersburg, Polytechnic Institute. University, 2016. -- 234 p.
3. Deich ME, Zaryankin AE Gas dynamics of diffusers and exhaust pipes of turbomachines. - М.: Energy, 1970. - 384 p.
4. Idelchik IE Handbook of hydraulic resistances. - М.: Mechanical Engineering, 1975. -- 560 p.
5. Loytsyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. - М.: Bustard, 2003. - 840 p.
6. Prikhodko AA Computer technologies in aerohydrodynamics and heat and mass transfer / Prikhodko AA // К.: Naukova dumka. - 2003. -- 380 p.
7. Roach P. Computational fluid dynamics: Per. from English / Roach P. // М.: Мир, 1981.- 612 p.
8. Semin D.A. Development and improvement of the characteristics of large-scale vortex valves. Diss. Cand. tech. sciences. Lugansk, 1992, 203 p.
9. Somin D.O. Vortex viconavchy annexes: In 2 parts. Part 1 Monograph. / Somin D.O., Pavlyuchenko V.O., Maltsev Ya.I., Voytsekhovskiy S.V., Rogovy A.S., Dmitriyenko D.V., Maltseva M.O. - Lugansk: view of SNU im. Dahl, 2009.- 284 p.
10. Somin D.O. Advancing the efficiency of shifting vantages by pipeline transport using string fittings: Dis. Dr. tech. Sciences: 05.22.12 / Skhidnoukraïnskiy national un-t im. Volodymyr Dahl. - Luhansk, 2004. -- 381c.
11. Fletcher K. Computational methods in fluid dynamics: In 2 volumes: Per. from English / Fletcher K. // М.: Мир, 1991.

Syomin D.A., Levashov Y. N., Pedan P. G.

RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH ONE-WAY OUTLET WITH A RADIAL DIFFUSER AND AXIAL POWER SUPPLY CHANNEL

The results of mathematical and physical modeling of flow hydrodynamics in a vortex valve with a one-way outlet with a radial diffuser and an axial supply channel are presented. The numerical solution of the equations of three-dimensional turbulent flow made it possible to establish the kinematic picture of the flow in the valve.

The operating characteristic and the main parameters of the valve have been experimentally determined.

Key words: vortex valve, one-way outlet, radial diffuser, mathematical model of flow, Reynolds equation, turbulence model, performance characteristic, flow coefficient, shut-off parameters.

Сьомін Дмитрій Александрович, д.т.н. профессор кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР

«Луганский государственный университет имени
Владимира Даля», г. Луганск
E-mail: sdaa261@ukr.net

Syomin Dmitry Alexandrovich, Doctor of Technical
Sciences Professor of the department " Applied Mathematics",
State Educational Establishment of Higher Professional
Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Левашов Ярослав Николаевич, ассистент кафедры
«Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский
государственный университет имени Владимира Даля», г.
Луганск.

E-mail: xpioneerx@mail.ru

Levashov Yaroslav Nikolayevich, assistant of the
Department of «Applied Mathematics», State Educational

Establishment of Higher Professional Education «Lugansk
Vladimir Dahl State University».

Педан Павел Григорьевич, студент группы ИТ-
791м кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР
«Луганский государственный университет имени
Владимира Даля», г. Луганск.

Pedan Pavel Grigorievich, student of the IT-791m
group of the Department "Applied Mathematics", State
Educational Establishment of Higher Professional Education
«Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор
технических наук, профессор ГОУ ВО ЛНР «Луганский
государственный университет имени В. Даля»

Статья подана 6.05.2021

УДК 621.22: 621.694

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КЛАПАНОВ С ДВУСТОРОННИМ ВЫХОДОМ С РАДИАЛЬНЫМИ ДИФFUЗОРАМИ И ОСЕВЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ

Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Заболотников А.С.

RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH TWO-WAY OUTLET WITH RADIAL DIFFUSERS AND AXIAL POWER SUPPLY CHANNEL

Syomin D.A., Levashov Y.N., Zabolotnikov A.S.

Приведены результаты математического и физического моделирования гидродинамики течения в вихревом клапане с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и осевым каналом питания. Численное решение уравнений трехмерного турбулентного течения позволило установить кинематическую картину течения в клапане. Экспериментально определена рабочая характеристика и основные параметры клапана.

Ключевые слова: вихревой клапан, двусторонний выход, радиальный диффузор, математическая модель течения, уравнение Рейнольдса, модель турбулентности, рабочая характеристика, коэффициент расхода, параметры записания.

Введение. Совершенствование гидравлических характеристик вихревых регулирующих органов является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить надежность и эффективность основанных на них устройств и систем управления мощными потоками жидкостей и газов, функционирующих в неблагоприятных условиях.

Наиболее эффективными конструктивными решениями, позволяющими существенно снизить затраты среды и мощности на управление и запирание вихревого клапана, является использование двух выходов (вместо одного, как в классических конструкциях) и подсоединенных к ним патрубков в виде диффузоров.

При этом возможно использование диффузоров различного типа, как с прямолинейными образующими так и с более сложной криволинейной конфигурацией проточной части [3, 4].

Вместе с тем, опыт проектирования и изготовления образцов вихревых макроклапанов, как правило в единичных экземплярах, с диффузорными патрубками диктует необходимость создания эффективных конструкций с максимально простыми формами проточной части [8, 9, 10]. Требования высокой эффективности и простоты формы являются взаимно противоречивыми,

поэтому возможны только компромиссные решения указанной задачи.

Целью работы является повышение пропускной способности вихревого клапана с двусторонним выходом, путём исследования кинематики течения в нём.

Изложение основного материала.

В данной работе исследуется одна из возможных модификаций вихревого клапана, позволяющая увеличить пропускную его способность, при условии сохранения диаметра условного прохода. Это конструкция с двусторонним выходом потока из вихревой камеры и радиальными диффузорами. Подвод потока питания в вихревую камеру осуществляется через два осевых кольцевых канала питания (Рис.1). Предполагается, что осесимметричная конструкция должна обеспечить равномерное распределение скорости на входе в диффузоры и безотрывное течение в них. К клапану поток подаётся через радиальный подвод, и затем поступает в вихревую камеру через два кольцевых канала питания. Затем течение направляется к выходным отверстиям и далее проходя через радиальные диффузоры попадает в атмосферу.

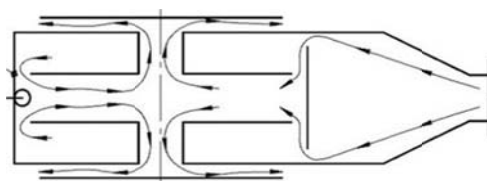


Рис.1. Схема проточной части ВК-О-2ДР и предполагаемого течения.

Диффузоры позволяют снизить потери кинетической энергии определяемой выходной скоростью. Использование в конструкции диффузоров указанного типа позволяет существенно уменьшить осевые габариты клапана, по сравнению с модификацией имеющей осевые диффузоры.



Рис.2. Твёрдотельная модель вихревого клапана с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и осевым каналом питания ВК-О-2ДР

Для оценки эффективности вихревого клапана предложенной конструкции были выполнены исследования на математической и физической моделях течения в его проточной части.

Математическое моделирование пространственного течения в вихревом клапане осуществлено на основе уравнения Навье-Стокса, осредненного по Рейнольдсу для несжимаемой жидкости.

$$\rho \frac{d\bar{V}}{dt} = \rho \bar{F} + \text{Div}(\underline{\Pi} + \rho \bar{V}' \bar{V}')$$

обобщенной гипотезы Ньютона для напряжений в движущейся вязкой жидкости

$$\underline{\Pi} = 2\mu \dot{\underline{S}} - p\underline{E}$$

и уравнения неразрывности движения

$$\text{div} \bar{V} = 0$$

В основе моделирования турбулентности лежат гипотеза Буссинеска

$$\rho \bar{V}' \bar{V}' = 2\mu_t \dot{\underline{S}} - \rho k \underline{E}$$

и модель Ментера

$$\mu_t = f(k, \varepsilon, \omega)$$

В приведенных соотношениях:

ρ - плотность жидкости; $\bar{V}, \bar{V}'$ - соответственно, осредненная и пульсационная компоненты актуальной скорости $\bar{V} = \bar{V} + \bar{V}'$; $\bar{F}$ - главный вектор массовых сил; $\underline{\Pi}$ - осредненный тензор напряжений; p - осредненное гидродинамическое давление в вязкой жидкости; μ_t - динамическая турбулентная вязкость; $\dot{\underline{S}}$ - осредненный тензор деформаций; k - кинетическая энергия турбулентности; E - единичный тензор; ε, ω - соответственно, скорость диссипации и

удельная скорость диссипации кинетической энергии турбулентности.

Приведенная выше математическая модель, адаптированная для численного моделирования с указанием начальных и граничных условий подробно описана в статье «Математическое и физическое моделирование течений в вихревых клапанах», в этом же журнале. Численное интегрирование математической модели производилось в открытой интегрируемой платформе OpenFOAM. Расчётная сетка данной модели содержала 5986138 элементов. В пограничных слоях использовалась призматическая сетка, толщина призматического слоя 0,5 мм, количество призматических слоёв 7, скорость роста призматических слоёв 1,2. Во внутреннем объёме использовались ячейки в форме тетраэдра. Задача решалась в стационарной постановке.

Время расчета на 2-х процессорной системе на основе процессоров Intel® Xeon® E5-2650 v2 с тактовой частотой 2,60 ГГц составило 18 часов. Результаты расчетов в виде полей скорости в характерных сечениях проточной части клапана приведены ниже на рисунках.

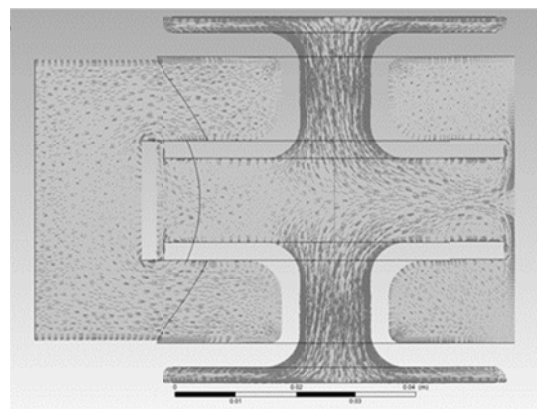
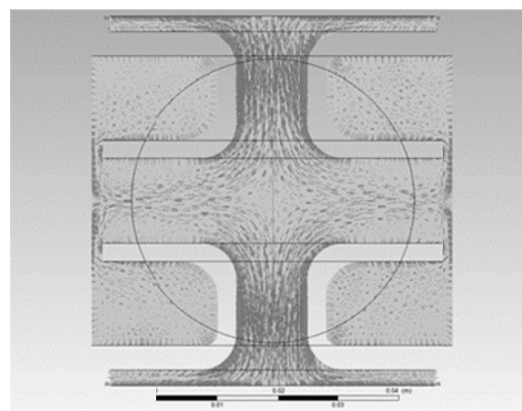


Рис.3. Расчетное поле скоростей в открытом вихревом клапане с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и осевым каналом питания ВК-О-2ДР (сверху вид со стороны подводящего патрубка)

Из рис. 3 видно, что со стороны подводящего патрубка поле скоростей симметричное

относительно горизонтальной и вертикальной осей. В плоскости подводящего патрубка (правый рисунок) так же наблюдается симметрия поля скоростей относительно вертикальной оси, так как в данная модификация имеет осевой канал питания. Неравномерное распределение скорости по высоте в верхнем и нижнем радиальных диффузорах объясняется тем, что после поворота поток вследствие инерции поджимается к диску, на который он набегает.

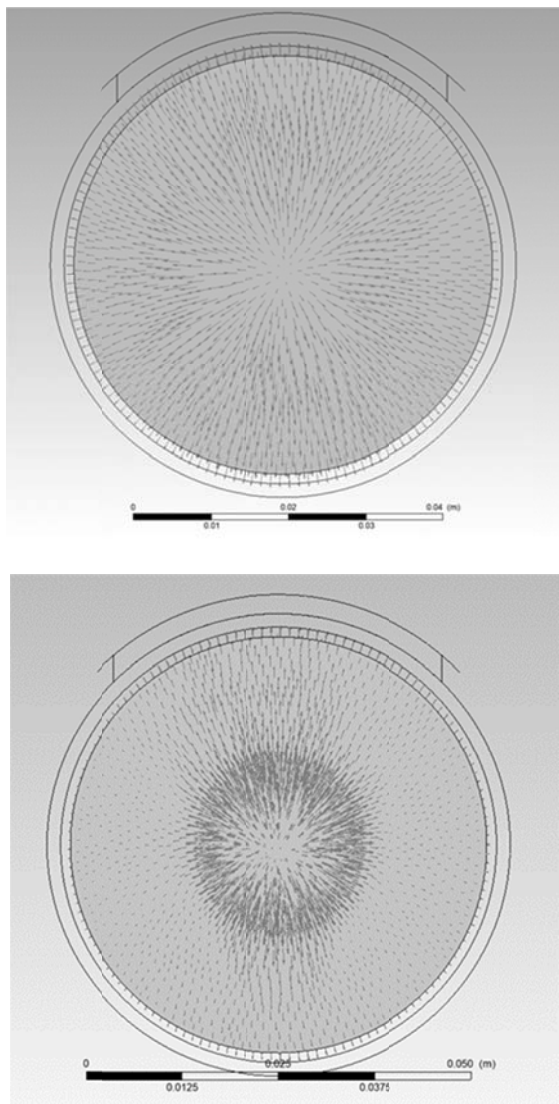


Рис.4. Расчетное поле скоростей в верхнем диффузоре (см. Рис.3) вблизи поверхности верхнего (сверху) и нижнего (справа) дисков

На верхней части рисунка 4 видно, что поле скоростей по радиусу и углу поворота обладает симметрией. Поток поджат к диску, на который он набегает. Для правой части характерна существенная асимметрия поля скоростей, распределение скорости по радиусу и углу поворота в диффузоре неравномерное. Поток претерпевает

отрыв практически от всей поверхности нижнего диска.

Аналогичная картина течения (не приведена) наблюдается и в нижнем (противоположном) диффузоре.

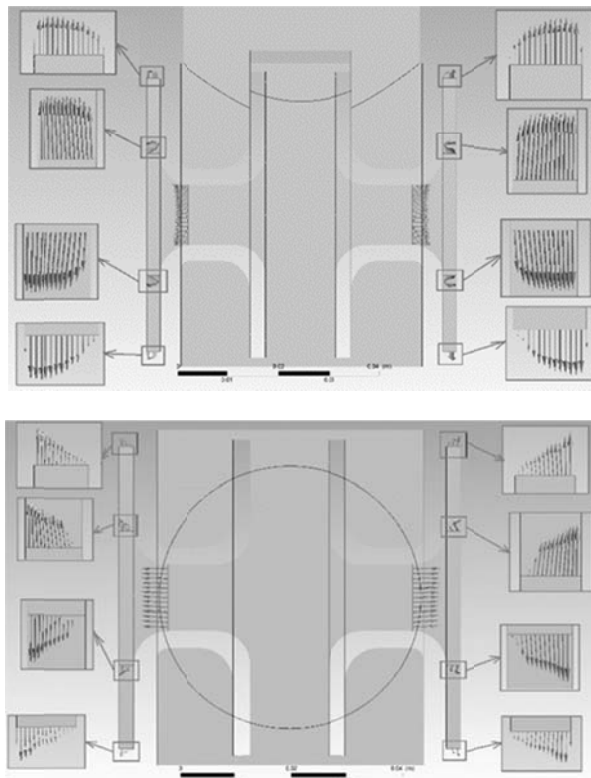


Рис.5. Распределение скоростей в проточной части ВК-О-2ДР (снизу вид со стороны подводящего патрубка)

На рисунке 5 можно видеть симметричную относительно вертикальной оси кинематическую картину течения. На правой части рисунка поле скоростей в «горле» клапана имеет наклон вверх. Вследствие этого, распределение скоростей на входе в диффузоры неравномерно по радиусу, углу поворота. Это обуславливает отчетливо видимое неравномерное распределение скорости по радиусу и высоте диффузоров и отрыв потока от дисков, расположенных ближе к вихревой камере.

Значение приведенного коэффициента расхода в результате расчёта составило величину.

$$\mu_{0\text{ clc}} = 2,85$$

Физическое моделирование течения жидкости в вихревом клапане исследуемой конструкции ВК-О-2ДР (см. рис. 6), позволило получить рабочую характеристику, которая представлена на рис. 7.

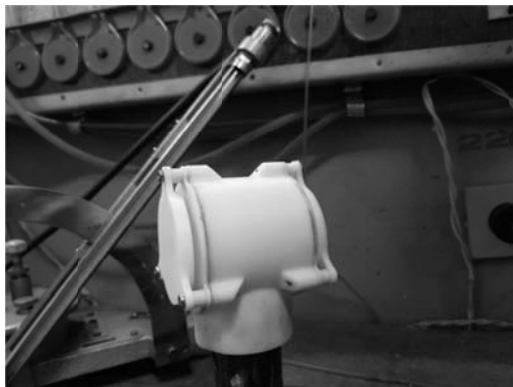


Рис. 6. Физическая модель клапана BK-O-2ДР на экспериментальном стенде

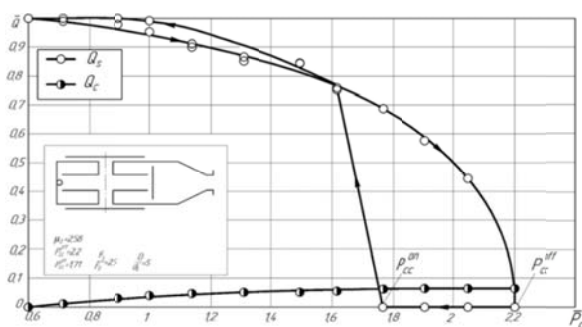


Рис. 7. Рабочая характеристика вихревого клапана с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и осевым каналом питания

Анализ полученных результатов математического моделирования и экспериментальных исследований вихревого клапана с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и осевым каналом питания позволяет сделать следующие выводы.

Выводы.

1. Экспериментально установлено значение приведенного коэффициента расхода $\mu_0 = 2.58$, которое на 174% больше, чем у вихревого клапана базовой конструкции [8].
2. Экспериментальным путем получена рабочая характеристика клапана. Характеристика носит релейный характер с гистерезисом.
3. В результате эксперимента установлено, что давление запирания $\bar{P}_{cc}^{off} = 2.2$ и давление открытия $\bar{P}_{cc}^{on} = 1.71$ выше, чем у клапана базовой конструкции ($\bar{P}_{cc} = 1.25$) на 37%. Расход запирания $\bar{Q}_{cc} = 0.07$, а у базового клапана $\bar{Q}_{cc} = 0.125$. Затраты мощности на запирание $\bar{N}_{cc} = \bar{P}_{cc} \bar{Q}_{cc} = 1.71 \cdot 0.07 = 0.12$, что в пересчете на абсолютные значения (при одинаковой площади «горла») в 3.35 раза меньше по сравнению с базовым клапаном.
4. Экспериментально определенные рабочие параметры и характеристика вихревого клапана конструкции BK-O-2ДР могут служить основанием для инженерных расчетов и проведения

верификации математических моделей течения в клапане на различных режимах работы: “ON”, “OFF”, “ON-OFF”.

5. Оценка адекватности разработанной математической модели течения в вихревом клапане BK-O-2ДР осуществлена по интегральному критерию – коэффициенту расхода клапана. Расчетное значение приведенного коэффициента расхода $\mu_{0\,calc} = 2.85$ и экспериментальное $\mu_{0\,exp} = 2.58$ отличаются не более чем на 10%, что можно признать удовлетворительным.

6. По результатам математического моделирования удалось установить, что после поворота потока в радиальных диффузорах поток поджимается к внешним на (которые он набегает) дискам. Вследствие этого диффузор работает не полным сечением, с отрывом потока от стенки, прилегающей к вихревой камере. В данной конструкции удалось существенно приблизиться к максимально возможному значению коэффициента расхода $\mu_{0\,max} \rightarrow 5$ [4].

7. Для дальнейшего повышения коэффициента расхода необходимо выполнить специальное профилирование проточной части, обеспечивающее равномерный профиль скорости на входе в радиальные диффузоры, что представляет самостоятельную научную задачу.

Литература

1. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. / Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. // М.: Мир, 1990. - 384 с.
2. Гарбарук А. В., Стрелец М. Х., Шур М. Л. "Современные подходы к моделированию турбулентности", - СПб, Изд-во Политехн. ун-та, 2016. - 234 с.
3. Дейч М. Е., Зарянкин А. Е. Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин. - М.: Энергия, 1970. - 384 с.
4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение, 1975. - 560 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Дрофа, 2003. - 840 с.
6. Приходько А. А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене / Приходько А. А. // К.: Наукова думка. - 2003. - 380 с.
7. Роуч П. Вычислительная гидродинамика: Пер. с англ. / Роуч П. // М.: Мир, 1981. - 612 с.
8. Сёмин Д.А. Разработка и совершенствование характеристик крупномасштабных вихревых клапанов. Дисс. канд. техн. наук. Луганск, 1992, 203 с.
9. Сьомін Д.О. Вихрові виконавчі пристрої: В 2-х частинах. Ч.1 Однорідні робочі середовища: монографія. / Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Мальцев Я.І., Войцеховський С.В., Роговий А.С., Дмитрієнко Д.В., Мальцева М.О. - Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2009. - 284 с.
10. Сьомін Д.О. Підвищення ефективності переміщення транспортування трубопровідним транспортом засобами струминної арматури: Дис. д-ра техн. наук: 22.05.12 Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. - Луганськ, 2004. - 381с.

11. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2х томах: Пер. с англ. / Флетчер К. // М.: Мир, 1991.

References

1. Anderson D. Computational hydromechanics and heat transfer: In 2 volumes. Vol. 1: Per. from English / Anderson D., Tannehill J., Pletcher R. // М.: Mir, 1990.- 384 p.
2. Garbaruk A. V., Strelets M. Kh., Shur M. L. "Modern approaches to turbulence modeling", - St. Petersburg, Polytechnic Institute. University, 2016. -- 234 p.
3. Deich ME, Zaryankin AE Gas dynamics of diffusers and exhaust pipes of turbomachines. - М.: Energy, 1970. -- 384 p.
4. Idelchik IE Handbook of hydraulic resistances. - М.: Mechanical Engineering, 1975. -- 560 p.
5. Loytsyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. - М.: Bustard, 2003. -- 840 p.
6. Prikhodko AA Computer technologies in aerohydrodynamics and heat and mass transfer / Prikhodko AA // К.: Naukova dumka. - 2003. -- 380 p.
7. Roach P. Computational fluid dynamics: Per. from English / Roach P. // М.: Mir, 1981.- 612 p.
8. Semin D.A. Development and improvement of the characteristics of large-scale vortex valves. Diss. Cand. tech. sciences. Lugansk, 1992, 203 p.
9. Somin D.O. Vortex viconavchy annexes: In 2 parts. Part 1 Monograph. / Somin D.O., Pavlyuchenko V.O., Maltsev Ya.I., Voytsekhovskiy S.V., Rogovy A.S., Dmitriynko D.V., Maltseva M.O. - Lugansk: view of SNU im. Dahl, 2009. -- 284 p.
10. Somin D.O. Advancing the efficiency of shifting vantages by pipeline transport using string fittings: Dis. Dr. tech. Sciences: 05.22.12 / Skhidnoukraïnskiy national un-t im. Volodymyr Dahl. - Luhansk, 2004. -- 381c.
11. Fletcher K. Computational methods in fluid dynamics: In 2 volumes: Per. from English / Fletcher K. // М.: Mir, 1991.

Syomin D.A., Levashov Y. N., Zabolotnikov A. S.

RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH TWO-WAY OUTLET WITH RADIAL DIFFUSERS AND AXIAL POWER SUPPLY CHANNEL

The results of mathematical and physical modeling of flow hydrodynamics in a vortex valve with a two-way outlet with radial diffusers and an axial supply channel are presented. The numerical solution of the equations of three-

dimensional turbulent flow made it possible to establish the kinematic picture of the flow in the valve. The operating characteristic and the main parameters of the valve are experimentally determined.

Key words: vortex valve, two-way outlet, radial diffuser, mathematical flow model, Reynolds equation, turbulence model, performance characteristic, flow coefficient, shut-off parameters.

Сёмин Дмитрий Александрович, д.т.н. профессор кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск
E-mail: sdaa261@ukr.net

Syomin Dmitry Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences Professor of the department "Applied Mathematics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Левашов Ярослав Николаевич, ассистент кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.
E-mail: xpioneerx@mail.ru

Levashov Yaroslav Nikolayevich, assistant of the Department of «Applied Mathematics», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Заболотников Алексей Сергеевич, студент группы ИТ-791м кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Zabolotnikov Alexei Sergeevich, student of the IT-791m group of the Department "Applied Mathematics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени В. Даля»

Статья подана 6.05.2021

УДК 621.22: 621.694

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КЛАПАНОВ С ДВУСТОРОННИМ ВЫХОДОМ С ОСЕВЫМИ ДИФFUЗОРАМИ И ОСЕВЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ

Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Фролов Т.И.

RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH TWO-WAY OUTLET WITH AXIAL DIFFUSERS AND AXIAL POWER SUPPLY CHANNEL

Syomin D.A., Levashov Y.N., Frolov T.I.

Приведены результаты математического и физического моделирования гидродинамики течения в вихревом клапане с двусторонним выходом с осевыми диффузорами и осевым каналом питания. Численное решение уравнений трехмерного турбулентного течения позволило установить кинематическую картину течения в клапане.

Экспериментально определена рабочая характеристика и основные параметры клапана.

Ключевые слова: вихревой клапан, двусторонний выход, осевой диффузор, математическая модель течения, уравнение Рейнольдса, модель турбулентности, рабочая характеристика, коэффициент расхода, параметры записания.

Введение. Совершенствование гидравлических характеристик вихревых регулирующих органов является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить надежность и эффективность основанных на них устройств и систем управления мощными потоками жидкостей и газов, функционирующих в неблагоприятных условиях.

Наиболее эффективными конструктивными решениями, позволяющими существенно снизить затраты среды и мощности на управление и запирание вихревого клапана, является использование двух выходов (вместо одного, как в классических конструкциях) и подсоединенных к ним патрубков в виде диффузоров.

При этом возможно использование диффузоров различного типа, как с прямолинейными образующими так и с более сложной криволинейной конфигурацией проточной части [3,4].

Вместе с тем, опыт проектирования и изготовления образцов вихревых макроклапанов, как правило в единичных экземплярах, с диффузорными патрубками диктует необходимость создания эффективных конструкций с максимально простыми формами проточной части [8,9,10]. Требования высокой эффективности и простоты формы являются взаимно противоречивыми,

поэтому возможны только компромиссные решения указанной задачи.

Целью работы является повышение пропускной способности вихревого клапана с двусторонним выходом, путём исследования кинематики течения в нём.

Изложение основного материала.

В данной работе исследуется одна из возможных модификаций вихревого клапана, позволяющая увеличить пропускную его способность, при условии сохранения диаметра условного прохода. Это конструкция с двусторонним выходом потока из вихревой камеры и осевыми диффузорами. Подвод потока питания в вихревую камеру осуществляется через два осевых кольцевых канала питания (Рис.1).

Предполагается, что осесимметричная конструкция должна обеспечить равномерное распределение скорости на входе в диффузоры и безотрывное течение в них. К клапану поток подаётся через радиальный подвод, и затем поступает в вихревую камеру через два кольцевых канала питания.

Затем течение направляется к выходным отверстиям и далее проходя через осевые диффузоры попадает в атмосферу.

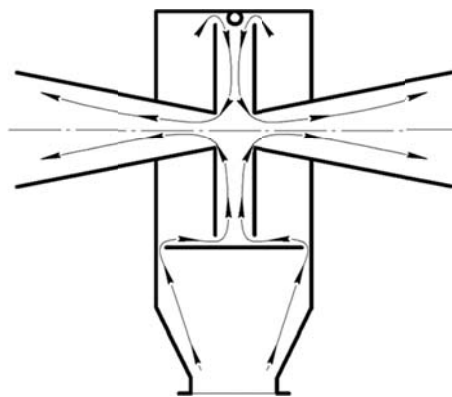


Рис.1. Схема проточной части ВК-О-2ДО и предполагаемого течения.

Диффузоры, установленные на выходе из вихревого клапана, позволяют снизить потери кинетической энергии определяемой выходной скоростью.

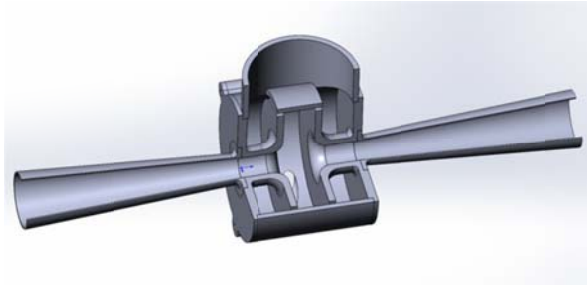


Рис. 2. Твёрдотельная модель вихревого клапана с двусторонним выходом с осевыми диффузорами и осевым каналом питания ВК-О-2ДО

Для оценки эффективности вихревого клапана предложенной конструкции были выполнены исследования на математической и физической моделях течения в его проточной части.

Математическое моделирование пространственного течения в вихревом клапане осуществлено на основе уравнения Навье-Стокса, осредненного по Рейнольдсу для несжимаемой жидкости

$$\rho \frac{d\bar{V}}{dt} = \rho \bar{F} + \text{Div}(\bar{\Pi} + \rho \bar{V}'\bar{V}')$$

обобщенной гипотезы Ньютона для напряжений в движущейся вязкой жидкости

$$\bar{\Pi} = 2\mu \dot{\bar{S}} - p\bar{E}$$

и уравнения неразрывности движения

$$\text{div} \bar{V} = 0$$

В основе моделирования турбулентности лежат гипотеза Буссинеска

$$\rho \bar{V}'\bar{V}' = 2\mu_t \dot{\bar{S}} - \rho k \bar{E}$$

и модель Ментера

$$\mu_t = f(k, \varepsilon, \omega)$$

В приведенных соотношениях:

ρ - плотность жидкости; $\bar{V}, \bar{V}'$ - соответственно, осредненная и пульсационная компоненты актуальной скорости $\bar{V} = \bar{V} + \bar{V}'$; $\bar{F}$ - главный вектор массовых сил; $\bar{\Pi}$ - осредненный тензор напряжений; $\bar{p}$ - осредненное гидродинамическое давление в вязкой жидкости; μ_t - динамическая турбулентная вязкость; $\dot{\bar{S}}$ - осредненный тензор деформаций; k - кинетическая энергия турбулентности; $\bar{E}$ - единичный тензор; ε, ω - соответственно, скорость диссипации и удельная скорость диссипации кинетической энергии турбулентности.

Приведенная выше математическая модель, адаптированная для численного моделирования с указанием начальных и граничных условий подробно описана в статье «Математическое и физическое моделирование течений в вихревых клапанах», в этом же журнале. Численное интегрирование математической модели производилось в открытой интегрируемой платформе OpenFOAM. Расчётная сетка данной модели содержала 4343956 элементов. В пограничных слоях использовалась призматическая сетка, толщина призматического слоя 1 мм, количество призматических слоёв 7, скорость роста призматических слоёв 1,2. Во внутреннем объёме использовались ячейки в форме тетраэдра. Задача решалась в стационарной постановке.

Время расчета на 2-х процессорной системе на основе процессоров Intel® Xeon® E5-2650 v2 с тактовой частотой 2,60 ГГц составило 14 часов. Результаты расчетов в виде полей скорости в характерных сечениях проточной части клапана приведены ниже на рисунках.

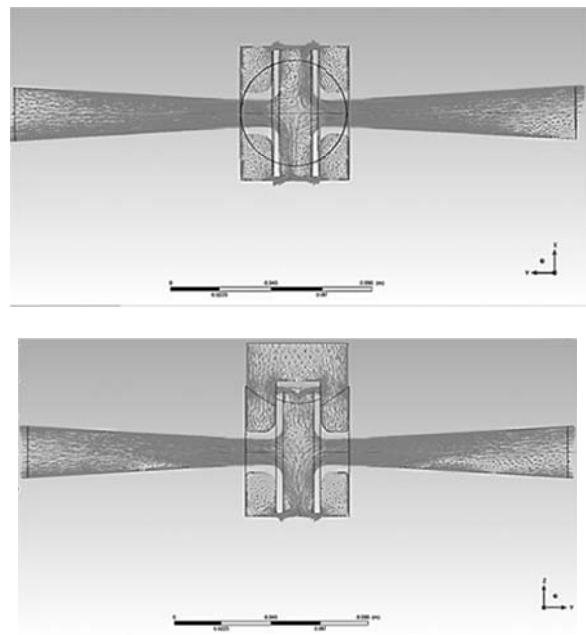


Рис. 3. Расчетное поле скоростей в открытом вихревом клапане с двусторонним выходом с осевыми диффузорами и осевым каналом питания ВК-О-2ДО (сверху вид со стороны подводящего патрубка)

Из рис. 3 видно, что со стороны подводящего патрубка поле скоростей не симметрично относительно горизонтальной и вертикальной осей. В плоскости подводящего патрубка (нижний рисунок) так же наблюдается заметная асимметрия поля скоростей относительно вертикальной и горизонтальной осей.

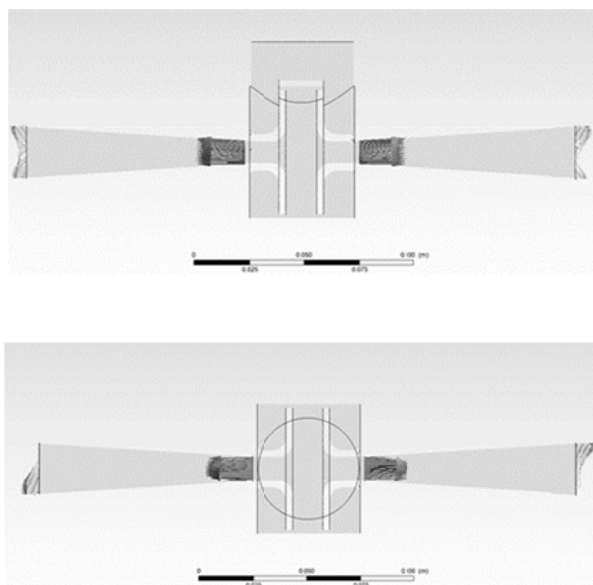


Рис.4. Распределение скоростей в проточной части ВК-О-2ДО (снизу вид со стороны подводящего патрубка)

На рисунке 4 можно видеть асимметричную относительно вертикальной и горизонтальной осей кинематическую картину течения.

Значение приведенного коэффициента расхода в результате расчёта составило величину

$$\mu_{0\,clc} = 2,75$$

Физическое моделирование течения жидкости в вихревом клапане исследуемой конструкции ВК-О-2ДО (см. рис. 5), позволило получить рабочую характеристику, которая представлена на рис. 6.

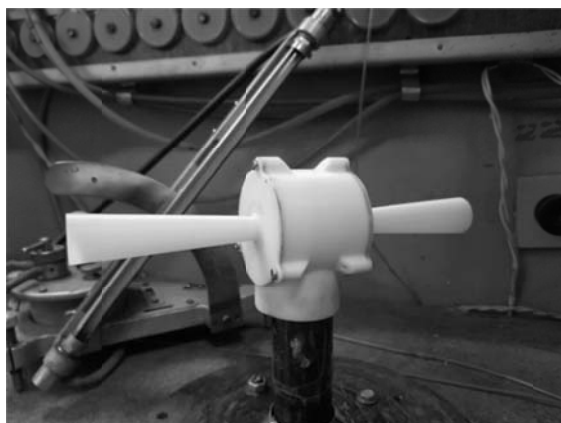


Рис. 5. Физическая модель клапана ВК-О-2ДО на экспериментальном стенде

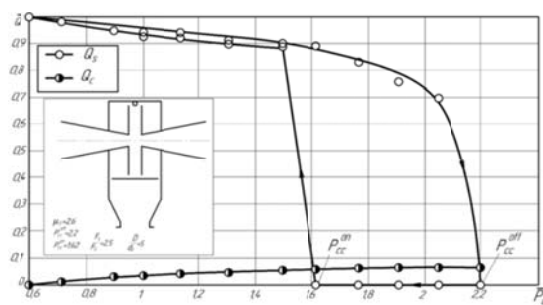


Рис.6. Рабочая характеристика вихревого клапана с двусторонним выходом с осевыми диффузорами и осевым каналом питания

Анализ полученных результатов математического моделирования и экспериментальных исследований вихревого клапана с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и радиальным каналом питания ВК-О-2ДО позволяет сделать следующие выводы.

Выводы.

1. Экспериментально установлено значение приведенного коэффициента расхода $\mu_0 = 2,6$, которое на 176% больше, чем у вихревого клапана базовой конструкции.

2. Экспериментальным путем получена рабочая характеристика клапана. Характеристика носит релейный характер с гистерезисом.

3 В результате эксперимента установлено, что давление запирания $\bar{P}_{cc}^{off} = 2,2$ и давление открытия $\bar{P}_{cc}^{on} = 1,62$ выше, чем у клапана базовой конструкции ($P_{cc} = 1,25$) на 30%. Расход запирания $\bar{Q}_{cc} = 0,065$, а у базового клапана $\bar{Q}_{cc} = 0,125$. Затраты мощности на запирание $\bar{N}_{cc} = \bar{p}_{cc} \bar{Q}_{cc} = 1,62 \cdot 0,065 = 0,105$, что в пересчете на абсолютные значения (при одинаковой площади «горла») в 3,86 раза меньше по сравнению с базовым клапаном.

4. Экспериментально определенные рабочие параметры и характеристика вихревого клапана конструкции ВК-О-2ДО могут служить основанием для инженерных расчетов и проведения верификации математических моделей течения в клапане на различных режимах работы: “ON”, “OFF”, “ON-OFF”.

5. Оценка адекватности разработанной математической модели течения в вихревом клапане ВК-О-2ДО осуществлена по интегральному критерию – коэффициенту расхода клапана. Расчетное значение приведенного коэффициента расхода $\mu_{0\,clc} = 2,75$ и экспериментальное $\mu_{0\,exp} = 2,6$ отличаются не более чем на 6%, что можно признать хорошим.

6. Для дальнейшего повышения коэффициента расхода необходимо выполнить специальное профилирование проточной части, обеспечивающее равномерный профиль скорости на входе в осевые

диффузоры, что представляет самостоятельную научную задачу.

Л и т е р а т у р а

1. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. / Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. // М.: Мир, 1990. - 384 с.

2. Гарбарук А. В., Стрелец М. Х., Шур М. Л. "Современные подходы к моделированию турбулентности", - СПб, Изд-во Политехн. ун-та, 2016. - 234 с.

3. Дейч М. Е., Зарянкин А. Е. Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин. - М.: Энергия, 1970. - 384 с.

4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение, 1975. - 560 с.

5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Дрофа, 2003. - 840 с.

6. Приходько А. А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене / Приходько А. А. // К.: Наукова думка. - 2003. - 380 с.

7. Роуч П. Вычислительная гидродинамика: Пер. с англ. / Роуч П. // М.: Мир, 1981. - 612 с.

8. Сёмин Д.А. Разработка и совершенствование характеристик крупномасштабных вихревых клапанов. Дисс. канд. техн. наук. Луганск, 1992, 203 с.

9. Сьомін Д.О. Вихрові виконавчі пристрої: В 2-х частинах. Ч.1 Однорідні робочі середовища: монографія. / Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Мальцев Я.І., Войцеховський С.В., Роговий А.С., Дмитрієнко Д.В., Мальцева М.О. - Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2009. - 284 с.

10. Сьомін Д.О. Підвищення ефективності переміщення транспортування трубопровідним транспортом засобами струминної арматури: Дис. д-ра техн. наук: 22.05.12 Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. - Луганськ, 2004. - 381с.

11. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2х томах: Пер. с англ. / Флетчер К. // М.: Мир, 1991.

R e f e r e n c e s

1. Anderson D. Computational hydromechanics and heat transfer: In 2 volumes. Vol. 1: Per. from English / Anderson D., Tannehill J., Pletcher R. // М.: Mir, 1990.- 384 p.

2. Garbaruk A. V., Strelets M. Kh., Shur M. L. "Modern approaches to turbulence modeling", - St. Petersburg, Polytechnic Institute. University, 2016. -- 234 p.

3. Deich ME, Zaryankin AE Gas dynamics of diffusers and exhaust pipes of turbomachines. - М.: Energy, 1970. -- 384 p.

4. Idelchik IE Handbook of hydraulic resistances. - М.: Mechanical Engineering, 1975. -- 560 p.

5. Loytsyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. - М.: Bustard, 2003. -- 840 p.

6. Prikhodko AA Computer technologies in aerohydrodynamics and heat and mass transfer / Prikhodko AA // К.: Naukova dumka. - 2003. -- 380 p.

7. Roach P. Computational fluid dynamics: Per. from English / Roach P. // М.: Mir, 1981.- 612 p.

8. Semin D.A. Development and improvement of the characteristics of large-scale vortex valves. Diss. Cand. tech. sciences. Lugansk, 1992, 203 p.

9. Somin D.O. Vortex viconavchy annexes: In 2 parts. Part 1 Monograph. / Somin D.O., Pavlyuchenko V.O., Maltsev Ya.I., Voytsekhovskiy S.V., Rogovy A.S., Dmitriynko D.V.,

Maltseva M.O. - Lugansk: view of SNU im. Dahl, 2009. -- 284 p.

10. Somin D.O. Advancing the efficiency of shifting vantages by pipeline transport using string fittings: Dis. Dr. tech. Sciences: 05.22.12 / Skhidnoukraïnskiy national un-t im. Volodymyr Dahl. - Luhansk, 2004. -- 381c.

11. Fletcher K. Computational methods in fluid dynamics: In 2 volumes: Per. from English / Fletcher K. // М.: Mir, 1991.

Syomin D.A., Levashov Y. N., Frolov T.I.

RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH TWO-WAY OUTLET WITH AXIAL DIFFUSERS AND AXIAL POWER SUPPLY CHANNEL

The results of mathematical and physical modeling of flow hydrodynamics in a vortex valve with a two-way outlet with axial diffusers and an axial supply channel are presented. The numerical solution of the equations of three-dimensional turbulent flow made it possible to establish the kinematic picture of the flow in the valve.

The operating characteristic and the main parameters of the valve have been experimentally determined.

Key words: vortex valve, two-way outlet, axial diffuser, mathematical flow model, Reynolds equation, turbulence model, performance characteristic, flow coefficient, shut-off parameters.

Сёмин Дмитрий Александрович, д.т.н. профессор кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск
E-mail: sdaa261@ukr.net

Syomin Dmitry Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences Professor of the department " Applied Mathematics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Левашов Ярослав Николаевич, ассистент кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: xpioneerx@mail.ru

Levashov Yaroslav Nikolayevich, assistant of the Department of «Applied Mathematics», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Фролов Тимофей Игоревич, студент группы ИТ-791м кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Frolov Timofey Igorevich, student of the IT-791m group of the Department "Applied Mathematics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени В. Даля»

Статья подана 6.05.2021

УДК 621.22: 621.694

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В ВИХРЕВЫХ КЛАПАНАХ

Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Левашов А.Н., Яценко А.А.

MATHEMATICAL AND PHYSICAL MODELING OF FLOWS IN VORTEX VALVES

Syomin D.A., Levashov Y.N., Levashov A.N., Yatsenko A.A.

Изложены подходы к математическому моделированию турбулентных течений несжимаемой ньютоновской жидкости в вихревых клапанах. Приведено описание пневматического стенда для экспериментального определения рабочих характеристик и основных параметров вихревых клапанов.

Ключевые слова: вихревой клапан, математическая модель течения, уравнение Рейнольдса, модель турбулентности, рабочая характеристика, коэффициент расхода, параметры записания.

Введение. Проблема повышения надежности и долговечности систем с текучими средами, функционирующих в неблагоприятных условиях, может быть решена использованием средств струйной макротехники, предназначенных для непосредственного управления потоками вместо механических устройств аналогичного назначения [7]. Особой остротой эта проблема отличается в угледобывающей и перерабатывающей отраслях промышленности, промышленном транспорте, топливной энергетике, металлургии, строительной индустрии, химическом производстве, сельском хозяйстве и др.

Характерными условиями работы гидравлического оборудования, в указанных отраслях, являются вибрации, ударные и знакопеременные нагрузки, повышенная влажность и запыленность внешней среды, химическая агрессивность и наличие абразивов в рабочих средах, резкие перепады температуры и т.п. Воздействие перечисленных факторов на средства управления потоками текучих сред, многократно – в десятки, а в отдельных случаях и в сотни раз, уменьшают их долговечность по отношению к нормальным условиям. Отличительной особенностью струйной макротехники, благодаря отсутствию в ней подвижных механических частей, является как раз её нечувствительность к перечисленным негативным факторам.

Наиболее эффективными устройствами для целей управления мощными потоками сплошных сред по своим свойствам из числа известных струйных регулирующих органов являются

вихревые клапаны-усилители, которые позволяют регулировать протекающий через них расход рабочей среды, вплоть до полного его перекрытия [8].

Основным элементом вихревого клапана (рис. 1) является вихревая камера, которая представляет собой короткую цилиндрическую камеру с двумя торцевыми крышками, как правило, плоскими. Выходные отверстия располагаются по центру каждой торцевой крышки в случае двойного выхода, или только одной для одного канала выхода. Подвод потока питания осуществляется через радиальный канал в боковой стенке (рис. 1, а) или осевой кольцевой зазор между боковой и торцевой стенками вихревой камеры (рис. 1, б)

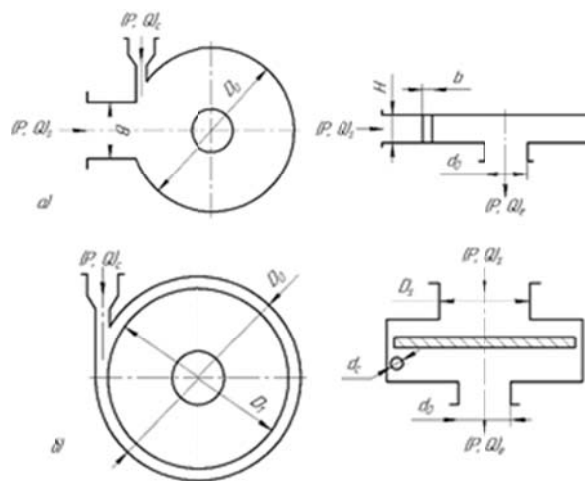


Рис. 1. Схема проточной части вихревых клапанов с осевым и радиальными каналами питания

Целью работы является повышение пропускной способности вихревого клапана с двусторонним выходом путём исследования кинематики течения в нём.

Изложение основного материала. Принцип работы вихревого клапана заключается в следующем. При отсутствии расхода управления Q_c в тангенциальном канале жидкость в количестве

Q_{so} втекает в вихревую камеру через осевой или радиальный канал питания и без вращения вытекает из нее через осевое отверстие в торцевой стенке. Сопротивление течению со стороны клапана при этом незначительно – коэффициент расхода μ достигает значений, близких к единице. При подаче потока управления в тангенциальный канал в вихровой камере происходит его столкновение с потоком питания. В результате этого взаимодействия образуется результирующее вращающееся течение, которое увеличивает сопротивление потоку питания. От степени вращения образовавшегося течения зависит сопротивление потоку питания.

Увеличивая расход управления, можно добиться состояния, при котором поток питания станет равным нулю, то есть клапан закроется. И, наоборот, если убрать поток из тангенциального канала, клапан откроется.

Типичные рабочие характеристики основных типов вихревых клапанов приведены на рис. 2.

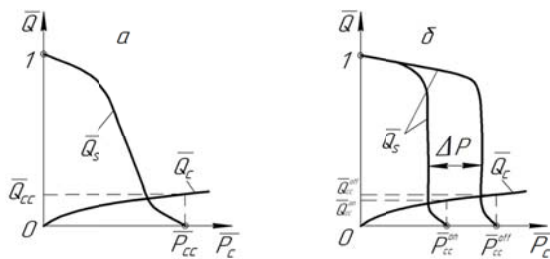


Рис. 2. Рабочие характеристики вихревых клапанов-усилителей:

а – аналоговая и б – дискретная с гистерезисом

Качества дискретных вихревых клапанов характеризуются следующими основными параметрами запираения: относительными значениями давления, расхода и мощности управляющего потока, при которых расход через канал питания Q_s становится равным нулю, т.е. клапан заперт. В работе [6] установлены соотношения, связывающие параметры запираения, – давление $\bar{p}_{cc}$, расход $\bar{Q}_{cc}$ и мощность $\bar{N}_{cc}$ с геометрическими и гидродинамическими параметрами:

$$\bar{p}_{cc} = \frac{p_{cc} - p_e}{p_s - p_e} \quad \bar{Q}_{cc} = \frac{Q_{cc}}{Q_{so}} = \frac{\mu_c}{\mu_0} \bar{d}_c^2 \sqrt{\bar{p}_{cc} - 1}$$

$$\bar{N}_{cc} = \bar{p}_{cc} \bar{Q}_{cc} = \frac{\mu_c}{\mu_0} \bar{d}_c^2 \bar{p}_{cc} \sqrt{\bar{p}_{cc} - 1}.$$

Каждая из перечисленных величин μ_0 , $\bar{p}_{cc}$, $\bar{Q}_{cc}$, $\bar{N}_{cc}$ является важным параметром клапана, учитываемым при его проектировании.

Основным недостатком устройств такого типа является потребление мощности и самой управляющей среды для удержания клапана в запертом или промежуточном состоянии.

Как следует из приведенных соотношений, повышение пропускной способности вихревого клапана, характеризуемой коэффициентом расхода μ_0 , позволяет не только снизить расход и мощность запираения, но и уменьшить его абсолютные размеры за счет снижения диаметра «горла» – d_0 , при сохранении необходимого расхода через открытый клапан:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4Q_{so}}{\pi\mu_0 \sqrt{\frac{2(p_s - p_e)}{\rho}}}}.$$

Модификации вихревых клапанов получают за счет изменения числа и конфигурации каналов питания, управления и выхода, их взаимного расположения, а также формы торцевых крышек, добиваясь при этом изменения показателей качества устройств [8]. При этом для каждой конструкции необходимо установить оптимальные значения параметров клапана, т.е. решить самостоятельную гидродинамическую задачу.

Методы математического и физического моделирования позволяют понять сущность происходящих явлений в вихревых клапанах и дать количественную оценку основным параметрам, характеризующим их качество.

Математическое моделирование течения в открытом вихревом клапане

Математическая модель течения в исследуемых вихревых клапанах создавалась с учетом гидродинамических особенностей течения, основанных на результатах как собственных экспериментальных исследований, так и других авторов. Подробный анализ этих материалов приведен в монографии [7].

1. Установлено, что течение в вихревых клапанах носит турбулентный характер, числа Рейнольдса $Re > 10^5$.

2. Рабочая среда несжимаемая.

3. Течение в диффузорных каналах может быть отрывным, поэтому модель турбулентности должна, возможно точнее, определять точки отрыва и примыкания потока относительно твердых стенок.

Тестирование современных моделей на различных задачах, содержащих особенности течений в п.п. 1-3, определил наш выбор в пользу SST модели, предложенной Ментером [10]. Она объединяет свойств « $k-\varepsilon$ » и « $k-\omega$ » моделей турбулентности, описывающих соответственно внешнее и пристеночное течения.

Математическая модель течения в вихревом клапане представлена системой дифференциальных уравнений на основе [1-5, 9]:

а) уравнения движения в форме Навье-Стокса, осредненного по Рейнольдсу в проекциях на оси координат:

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + F_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \nu_t) \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right],$$

где v_i, v_j – проекции скорости на оси координат $x_i(x, y, z), x_j(x, y, z)$; t – время; ρ – плотность текучей среды; p – гидродинамическое давление; F_i – проекции главного вектора массовых сил на оси координат, ν, ν_t – молекулярная и кинематическая вязкость среды;

б) уравнения неразрывности для несжимаемой жидкости:

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0;$$

в) уравнения переноса кинетической энергии k турбулентности:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j k)}{\partial x_j} = P - \beta^* \rho \omega k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right];$$

г) уравнения переноса удельной диссипации ω турбулентности:

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j \omega)}{\partial x_j} = \frac{\gamma}{\nu_t} \tilde{P} - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2(1 - F_1) \frac{\rho \sigma_{\omega 2}}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j},$$

где $P = \tau_{ij} \frac{\partial v_i}{\partial x_j}$; $\tau_{ij} = \mu_t \left(2S_{ij} - \frac{2}{3} \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}$;

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right); \quad \delta_{ij} = 1, i = j; \quad \delta_{ij} = 0, i \neq j;$$

$$\sigma_k = F_1 \sigma_{k1} + (1 - F_1) \sigma_{k2};$$

$$F_1 = \tanh(\arg_1^4);$$

$$\arg_1 = \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega \Delta d_w}, \frac{500\nu}{\Delta d_w^2 \omega} \right), \frac{4\rho \sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} \Delta d_w^2} \right];$$

$$CD_{k\omega} = \max \left(2\rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-20} \right);$$

$$\mu_t = \frac{\rho a_1 k}{\max(a_1 \omega, \Omega F_2)};$$

$$\Omega = \sqrt{2\Omega_{ij}\Omega_{ij}}; \quad \Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} - \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right);$$

$$F_2 = \tanh(\arg_2^2);$$

$$\arg_2 = \max \left(2 \frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega \Delta d_w}, \frac{500\nu}{\Delta d_w^2 \omega} \right);$$

$$\tilde{P} = \min(P, 20\beta^* \rho \omega k);$$

$$\sigma_\omega = F_1 \sigma_{\omega 1} + (1 - F_1) \sigma_{\omega 2};$$

$$\beta = F_1 \beta_1 + (1 - F_1) \beta_2;$$

$$\gamma = \frac{\beta}{\beta^*} - \frac{\sigma_\omega k^2}{\sqrt{\beta^*}}.$$

Константы:

$$\sigma_{k1} = 0.85; \quad \sigma_{\omega 1} = 0.5; \quad \beta_1 = 0.075;$$

$$\sigma_{k2} = 1.0; \quad \sigma_{\omega 2} = 0.856; \quad \beta_2 = 0.0828;$$

$$\beta^* = 0.09; \quad k = 0.41; \quad a_1 = 0.31.$$

Начальные условия:

$$t = 0, v = 0.$$

Граничные условия:

$$\omega_{wall} = 10 \frac{6\nu}{\beta_1 (\Delta d_w)^2}; \quad k_{wall} = 0,$$

где Δd_w – величина первого пристеночного шага сетки.

Условия на входных участках внешней границы расчётной области

$$\frac{U_\infty}{L} < \omega_{farfield} < 10 \frac{U_\infty}{L}; \quad \frac{10^{-5} U_\infty^2}{L} < k_{farfield} < \frac{0.1 U_\infty^2}{Re_L},$$

где U_∞ и L – характерные для данного течения скоростной и линейный масштабы.

Гидродинамические расчеты на приведенной математической модели течения представляют самостоятельную задачу, поэтому результаты для каждой модификации вихревого клапана будут представлены отдельно.

Экспериментальный стенд, методика исследований и обработки результатов испытаний

Результаты численного моделирования течений в вихревых клапанах на приведенной математической модели нуждаются в их верификации. Оценка адекватности модели осуществлялась путем сравнения расчетных значений коэффициента расхода клапана с результатами экспериментальных исследований для соответствующей конструкции.

Характеристики вихревых клапанов исследуемых модификаций снимались на экспериментальном стенде лаборатории струйной макротехники кафедры «Прикладная математика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Схема экспериментального стенда приведена на рис. 3.

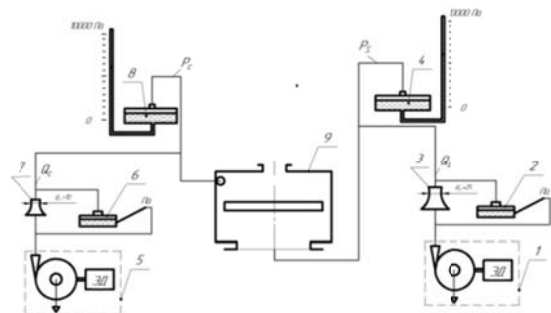


Рис. 3. Схема экспериментального стенда для исследования характеристик вихревых клапанов

Пневматический стенд состоит из двух центробежных нагнетателей 1 и 5, суживающих устройств 3 и 7, чашечных микроманометров 2 и 6,

пьезометров типа ММН 4 и 8, вихревого клапана 9. Воздух от нагнетателя 1 через суживающее устройство 3 подводится к каналу питания вихревого клапана. Поток управления подается от нагнетателя 5 через суживающее устройство 7 – к каналу управления. Давления в каналах питания и управления измеряются пьезометрами 4 и 8. Перепады давления на расходомерах измеряются чашечными микроанометрами 2 и 6. Атмосферное давление измерялось барометром – анероидом М67с, имеющего погрешность 26,6 Па, температура окружающей среды – ртутным термометром с ценой деления 1°С.

При определении коэффициента расхода вихревого клапана в открытом состоянии использовалась только правая часть схемы стенда, а при снятии рабочей характеристики – обе части (рис. 3). Исследования позволили установить влияние конструктивных особенностей проточной части каждой модификации на вид рабочей характеристики вихревого клапана, а также установить значения приведенного к его «горлу» коэффициента расхода:

$$\mu_o = \mu \frac{F}{F_o},$$

где μ – классический коэффициент расхода; F – площадь выходного сечения; F_o – площадь «горла» вихревого клапана.

Эксперименты проводились при постоянном давлении питания $P_s = 3922 \text{ Па}$, обеспечивающем автомодельный режим при числах Рейнольдса порядка $Re \sim 10^5$ и числах Маха $M \leq 0,2$. Последнее обстоятельство дало возможность производить расчеты параметров течения по формулам для несжимаемой жидкости с пренебрежимо малой погрешностью, не превышающей 2% [6].

Расход через суживающее устройство рассчитывается на основе известного соотношения [1]:

$$Q_q = \mu_q \frac{\pi}{4} d_q^2 \sqrt{\frac{2\Delta p_q}{\rho}},$$

где q – индекс, относящийся к параметру расходомерного устройства;

μ_q – коэффициент расхода суживающего устройства;

d_q – диаметр выходного отверстия суживающего устройства;

Δp_q – перепад давлений на суживающем устройстве.

Из условия равенства расходов через расходомерное устройство и вихревой клапан определяется коэффициент расхода, приведенный к «горлу» клапана, при отсутствии управляющего потока и атмосферном давлении на выходе клапана:

$$\mu_o = \frac{4Q_q}{\pi d_0^2 \sqrt{\frac{2p_s}{\rho}}}.$$

Рабочая характеристики вихревого клапана представляет собой зависимость расхода через клапан Q_s от управляющего давления p_c , при постоянном давлении питания p_s .

Универсальные характеристики и возможность их сравнения для различных типов и геометрических размеров клапанов можно получить, если указанные параметры представить в относительных значениях, приведенных в начале статьи.

Математическое моделирование рабочих характеристик вихревых клапанов и численные расчеты представляют отдельную задачу, связанную с особенностями гидродинамики вращающихся потоков [11], и в данной статье не рассматривалось.

Выводы. 1. Разработана и адаптирована адекватная математическая модель пространственного турбулентного течения несжимаемой жидкости в открытых вихревых клапанах на основе уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу, и SST модели турбулентности, позволяющей описать течение при наличии в клапанах диффузорных выходных патрубков.

2. Поставлена задача численной реализации математической модели вихревых клапанов различной модификации и сопоставления результатов расчета с физическим экспериментом.

3. Описана и обоснована методика экспериментального определения пропускной способности вихревых клапанов различной модификации и параметра ее количественной оценки – приведенного коэффициента расхода.

4. Описана и обоснована методика экспериментального определения рабочих характеристик вихревых клапанов различной модификации.

Л и т е р а т у р а

1. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: в 2-х т. Т. 1; пер. с англ. / Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. – М.: Мир, 1990. – 384 с.
2. Гарбарук А.В., Стрелец М.Х., Шур М.Л. Современные подходы к моделированию турбулентности. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 234 с.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
4. Приходько А.А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене / Приходько А.А. – К.: Наукова думка, 2003. – 380 с.
5. Роуч П. Вычислительная гидродинамика; пер. с англ. Роуч П. – М.: Мир, 1981. – 612 с.
6. Сёмин Д.А. Разработка и совершенствование характеристик крупномасштабных вихревых клапанов: Дисс. канд. техн. наук. – Луганск, 1992. – 203 с.
7. Сьомін Д.О. Вихрові виконавчі пристрої: В 2-х частинах. Ч.1 Однорідні робочі середовища: монографія /

Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Мальцев Я.І., Войцеховський С.В., Роговий А.С., Дмитрієнко Д.В., Мальцева М.О. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2009. – 284 с.

8. Сьомін Д.О. Підвищення ефективності переміщення вантажів трубопровідним транспортом засобами струминної арматури: Дис. д-ра техн. наук: 22.05.12 Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2004. – 381 с.

9. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: в 2-х томах; пер. с англ. / Флетчер К. – М.: Мир, 1991.

10. Ментер, Ф.Р. "Модели турбулентности с двумя уравнениями вихревой вязкости для инженерных приложений", AIAA Journal, Vol. 32, No. 8, August 1994, pp. 1598-1605.

11. Смирнов П.Е., Ментер Ф.Р. "Сенсибилизация модели турбулентности ТПО к вращению и кривизне путем применения поправочного члена Спаларта – Шура", Journal of Turbomachinery, 2009, 131, 041010.

References

1. Anderson D. Computational hydromechanics and heat transfer: In 2 volumes. Vol. 1: Per. from English / Anderson D., Tannehill J., Pletcher R. // М.: Мир, 1990. – 384 p.

2. Garbaruk A.V., Strelets M.Kh., Shur M.L. "Modern approaches to turbulence modeling". – St. Petersburg, Polytechnic Institute. University, 2016. – 234 p.

3. Loytsyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. – М.: Bustard, 2003. – 840 p.

4. Prikhodko A.A. Computer technologies in aerohydrodynamics and heat and mass transfer / Prikhodko A.A. // К.: Naukova dumka. – 2003. – 380 p.

5. Roach P. Computational fluid dynamics: Per. from English / Roach P. // М.: Мир, 1981. – 612 p.

6. Semin D.A. Development and improvement of the characteristics of large-scale vortex valves. Diss. Cand. tech. sciences. Lugansk, 1992, 203 p.

7. Somin D.O. Vortex viconavchy annexes: In 2 parts. Part 1 Monograph. / Somin D.O., Pavlyuchenko V.O., Maltsev Ya.I., Voytsekhovskiy S.V., Rogovy A.S., Dmitriyenko D.V., Maltseva M.O. – Lugansk: view of SNU im. Dahl, 2009. – 284 p.

8. Somin D.O. Advancing the efficiency of shifting vantages by pipeline transport using string fittings: Dis. Dr. tech. Sciences: 05.22.12 / Skhidnoukraïnskiy national un-t im. Volodymyr Dahl. – Luhansk, 2004. – 381 p.

9. Fletcher K. Computational methods in fluid dynamics: In 2 volumes: Per. from English / Fletcher K. // М.: Мир, 1991.

10. Menter F.R. "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications", AIAA Journal, Vol. 32, No. 8, August 1994, pp. 1598-1605.

11. Smirnov P.E., Menter F.R. "Sensitization of the SST Turbulence Model to Rotation and Curvature by Applying the Spalart – Shur Correction Term", Journal of Turbomachinery, 2009, 131, 041010.

Syomin D.A., Levashov Y.N., Levashov A.N., Yatsenko A.A.

MATHEMATICAL AND PHYSICAL MODELING OF FLOWS IN VORTEX VALVES

Approaches to mathematical modeling of turbulent flows of incompressible Newtonian fluid in vortex valves are described. A description of a pneumatic test bench for the experimental determination of the operating characteristics and basic parameters of vortex valves is given.

Key words: vortex valve, radial supply channel, outlet diffusers, velocity distribution, mathematical modeling, flow coefficient.

Сємін Дмитрій Александрович, д.т.н., професор кафедри «Прикладна математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганський державний університет імені Володимира Даля».

E-mail: sdaa261@ukr.net

Syomin Dmitry, Doctor of Technical Sciences, Professor of the department "Applied Mathematics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Левашов Ярослав Николаевич, асистент кафедри «Прикладна математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганський державний університет імені Володимира Даля».

E-mail: xpioneerx@mail.ru

Levashov Yaroslav, assistant of the Department of «Applied Mathematics», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: xpioneerx@mail.ru

Левашов Артём Николаевич, асистент кафедри «Прикладна математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганський державний університет імені Володимира Даля».

E-mail: boschedi@mail.ru

Levashov Artem, assistant of the Department of «Applied Mathematics», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

E-mail: boschedi@mail.ru

Яценко Алиса Антоновна, студентка групи ИТ-791м кафедри «Прикладна математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганський державний університет імені Володимира Даля».

Yatsenko Alisa, student of the IT-791m group of the Department "Applied Mathematics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технічних наук, професор кафедри транспортних технологій, ГОУ ВО ЛНР «Луганський державний університет імені Володимира Даля».

Статья подана 29.04.2021

УДК 621.22: 621.694

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВИХРЕВЫХ КЛАПАНОВ С ДВУСТОРОННИМ ВЫХОДОМ С РАДИАЛЬНЫМИ ДИФFUЗОРАМИ И РАДИАЛЬНЫМ КАНАЛОМ ПИТАНИЯ

Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Яценко А.А.

RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH TWO-WAY OUTLET WITH RADIAL DIFFUSERS AND RADIAL POWER SUPPLY CHANNEL

Syomin D.A., Levashov Y.N., Yatsenko A.A.

Приведены результаты математического и физического моделирования гидродинамики течения в вихревом клапане с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и радиальным каналом питания. Численное решение уравнений трехмерного турбулентного течения позволило установить кинематическую картину течения в клапане. Экспериментально определена рабочая характеристика и основные параметры клапана.

Ключевые слова: вихревой клапан, двусторонний выход, радиальный диффузор, радиальный канал питания, математическая модель течения, уравнение Рейнольдса, модель турбулентности, рабочая характеристика, коэффициент расхода, параметры записания.

Введение. Совершенствование гидравлических характеристик вихревых регулирующих органов является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить надежность и эффективность основанных на них устройств и систем управления мощными потоками жидкостей и газов, функционирующих в неблагоприятных условиях.

Наиболее эффективными конструктивными решениями, позволяющими существенно снизить затраты среды и мощности на управление и запираение вихревого клапана, является использование двух выходов (вместо одного, как в классических конструкциях) и подсоединенных к ним патрубков в виде диффузоров.

При этом возможно использование диффузоров различного типа как с прямолинейными образующими так и с более сложной криволинейной конфигурацией проточной части [3, 4].

Вместе с тем опыт проектирования и изготовления образцов вихревых макроклапанов, как правило, в единичных экземплярах с диффузорными патрубками диктует необходимость создания эффективных конструкций с максимально простыми формами проточной части [8-10]. Требования высокой эффективности и простоты формы являются взаимно противоречивыми,

поэтому возможны только компромиссные решения указанной задачи.

Целью работы является повышение пропускной способности вихревого клапана с двусторонним выходом путём исследования кинематики течения в нём.

Изложение основного материала. В данной работе исследуется одна из возможных модификаций вихревого клапана (рис. 1), позволяющая увеличить пропускную его способность, при условии сохранения диаметра условного прохода. Это конструкция с двусторонним выходом потока из вихревой камеры и радиальными диффузорами. Подвод потока питания в вихревую камеру осуществляется через радиальный канала питания (рис. 2). В вихревой камере одна часть потока огибает стабилизаторы, выполненные в виде цилиндрических выступов на крышках, а затем течение направляется к выходным отверстиям. Другая же часть потока без изменения направления течет к выходным отверстиям в крышках вихревой камеры. Перед выходом из камеры сначала происходит воссоединение указанных частей потока, а затем их разделение при истечении через выходные отверстия.



Рис. 1. Твёрдотельная модель вихревого клапана с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и радиальным каналом питания ВК-Р-2ДР

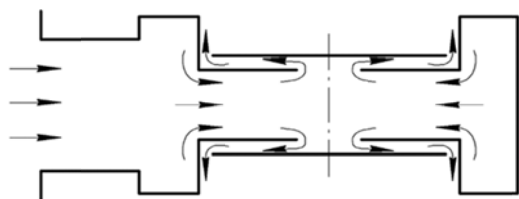


Рис. 2. Схема проточной части ВК-Р-2ДР и предполагаемого течения

Для снижения потерь кинетической энергии определяемой выходной скоростью выходные каналы выполнены в виде плоских радиальных диффузоров с постоянной высотой.

Использование в конструкции диффузоров указанного типа позволяет существенно уменьшить осевые габариты клапана, по сравнению с модификацией, имеющей осевые диффузоры.

Для оценки эффективности вихревого клапана предложенной конструкции были выполнены исследования на математической и физической моделях течения в его проточной части.

Математическое моделирование пространственного течения в вихревом клапане осуществлено на основе уравнения Навье-Стокса, осредненного по Рейнольдсу для несжимаемой жидкости:

$$\rho \frac{d\bar{V}}{dt} = \rho \bar{F} + \text{Div}(\underline{\Pi} + \rho \bar{V}'\bar{V}'),$$

обобщенной гипотезы Ньютона для напряжений в движущейся вязкой жидкости:

$$\underline{\Pi} = 2\mu \underline{\dot{S}} - p\underline{E}$$

и уравнения неразрывности движения:

$$\text{div} \bar{V} = 0.$$

В основе моделирования турбулентности лежат гипотеза Буссинеска:

$$\rho \bar{V}'\bar{V}' = 2\mu_t \underline{\dot{S}} - \rho k \underline{E}$$

и модель Ментера

$$\mu_t = f(k, \varepsilon, \omega).$$

В приведенных соотношениях:

ρ – плотность жидкости; $\bar{V}$, $\bar{V}'$ – соответственно, осредненная и пульсационная компоненты актуальной скорости $\bar{V} = \bar{V} + \bar{V}'$; $\bar{F}$ – главный вектор массовых сил; $\underline{\Pi}$ – осредненный тензор напряжений; p – осредненное гидродинамическое давление в вязкой жидкости; μ – динамическая турбулентная вязкость; $\underline{\dot{S}}$ – осредненный тензор деформаций; k – кинетическая энергия турбулентности; $\underline{E}$ – единичный тензор; ε , ω – соответственно, скорость диссипации и удельная скорость диссипации кинетической энергии турбулентности.

Приведенная выше математическая модель, адаптированная для численного моделирования с

указанием начальных и граничных условий, подробно описана в статье «Математическое и физическое моделирование течений в вихревых клапанах», в этом же журнале. Численное интегрирование математической модели производилось в открытой интегрируемой платформе OpenFOAM. Расчетная сетка данной модели содержала из 4057594 элементов. В пограничных слоях использовалась призматическая сетка, толщина призматического слоя 0,5 мм, количество призматических слоёв 10, скорость роста призматических слоёв 1,2. Во внутреннем объёме использовались ячейки в форме тетраэдра. Задача решалась в нестационарной постановке из предположения возможности отрывного течения в диффузорах и его нестационарности.

Время расчета на 2-х процессорной системе на основе процессоров Intel® Xeon® E5-2650 v2 с тактовой частотой 2,60 ГГц составило 72 час. Результаты расчетов в виде полей скорости в характерных сечениях проточной части клапана приведены ниже на рис. 3-5.

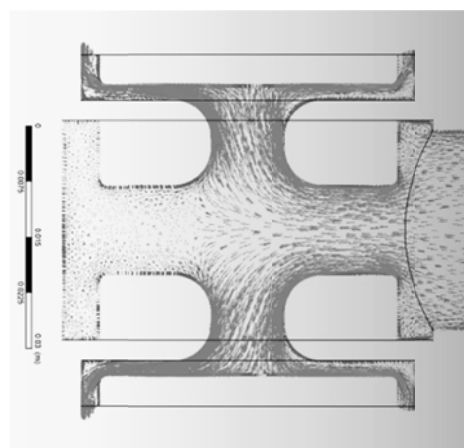
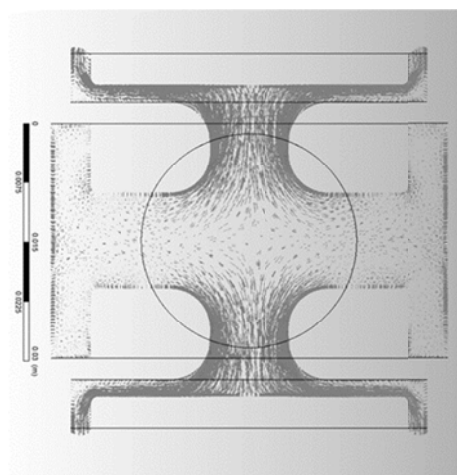


Рис. 3. Расчетное поле скоростей в открытом вихревом клапане с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и радиальным каналом питания ВК-Р-2ДР (ниже вид со стороны подводящего патрубка)

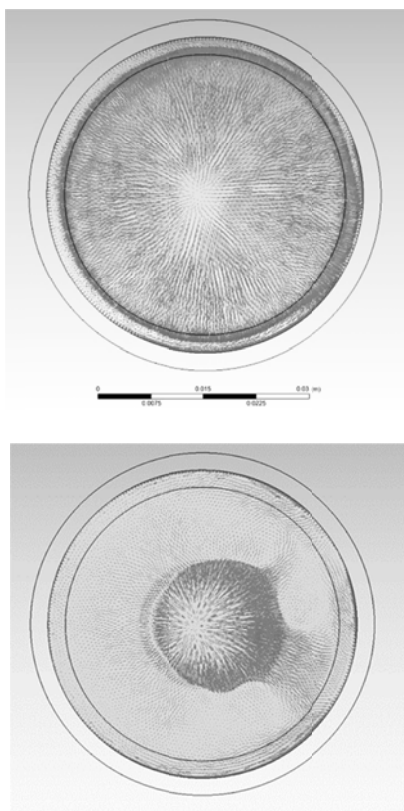


Рис. 4. Расчетное поле скоростей в верхнем диффузоре (см. рис. 3) вблизи поверхности верхнего (выше) и нижнего (ниже) дисков

Из рис. 3 видно, что со стороны подводящего патрубка поле скоростей симметрично относительно горизонтальной и вертикальной осей. В плоскости подводящего патрубка (правый рис.) наблюдается заметная асимметрия поля скоростей относительно вертикальной оси из-за асимметрии расположения подводящего патрубка. Неравномерное распределение скорости по высоте в верхнем и нижнем радиальных диффузорах объясняется тем, что после поворота поток вследствие инерции поджимается к диску, на который он набегаёт.

На левой части рис. 5 видно, что поле скоростей по радиусу и углу поворота обладает симметрией. Поток поджат к диску, на который он набегаёт. Для правой части характерна существенная асимметрия поля скоростей, распределение скорости по радиусу и углу поворота в диффузоре неравномерное. Поток претерпевает отрыв практически от всей поверхности нижнего диска.

Аналогичная картина течения (не приведена) наблюдается и в нижнем (противоположном) диффузоре.

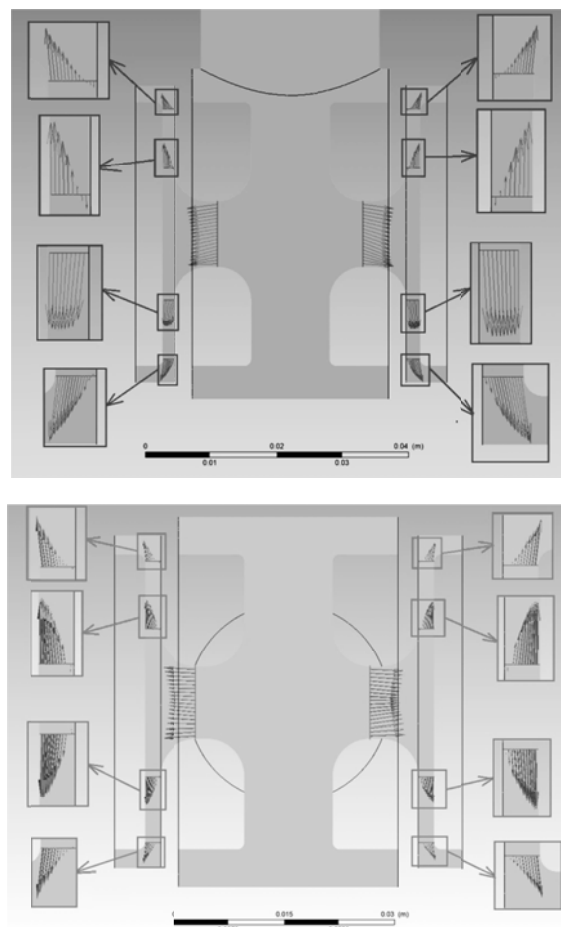


Рис. 5. Распределение скоростей в проточной части ВК-Р-2ДР (снизу вид со стороны подводящего патрубка)

На данном рисунке можно видеть близкую к симметричной относительно вертикальной оси кинематическую картину течения. На левой части рисунка поле скоростей в «горле» клапана имеет наклон в сторону, противоположную входному патрубку. Вследствие этого распределение скоростей на входе в диффузоры неравномерно по радиусу, углу поворота. Это обуславливает отчетливо видимое неравномерное распределение скорости по радиусу и высоте диффузоров и отрыв потока от дисков, расположенных ближе к вихревой камере.

Отрыв потока можно отнести к стационарному, т.к. расчет сходится при колебаниях среднего во времени расхода $Q_{so} = 0,0164 \text{ м}^3/\text{с}$, не превышающих 2%.

Значение приведенного коэффициента расхода μ_0 в результате расчёта составило величину

$$\mu_0 = 2,92.$$

Физическое моделирование течения жидкости в вихревом клапане исследуемой конструкции ВК-РС-2ДР (см. рис. 6) позволило получить рабочую характеристику, которая представлена на рис. 7.

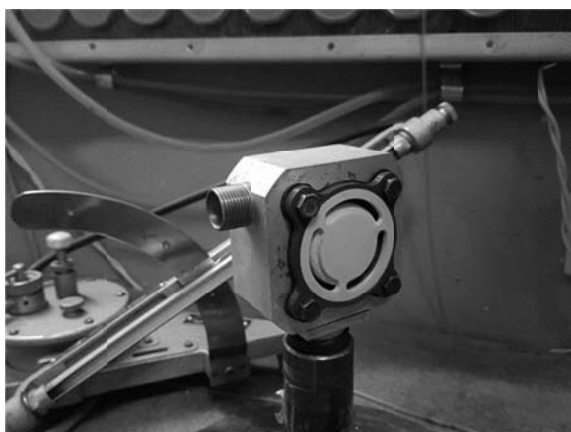


Рис. 6. Физическая модель клапана ВК-РС-2ДР на экспериментальном стенде

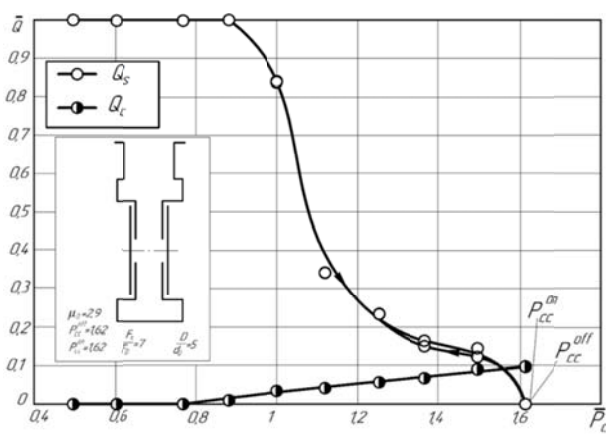


Рис. 7. Рабочая характеристика вихревого клапана с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и радиальным каналом питания

Анализ полученных результатов математического моделирования и экспериментальных исследований вихревого клапана с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и радиальным каналом питания позволяет сделать следующие выводы.

Выводы. 1. Экспериментально установлено, что использование в конструкции вихревого клапана двустороннего выхода с радиальными кольцевыми диффузорами позволило получить значение приведенного коэффициента расхода $\mu_0 = 2,9$, которое на 208% больше, чем у вихревого клапана базовой конструкции [8].

2. Экспериментальным путем получена рабочая характеристика для вихревого клапана с двусторонним выходом с радиальными диффузорами и радиальным каналом питания. Характеристика носит аналоговый характер без гистерезиса.

3. В результате проведенных исследований установлено, что давление записания $\bar{P}_{cc}^{off} = \bar{P}_{cc}^{on} = 1,62$ выше, чем у клапана базовой конструкции ($\bar{P}_{cc} = 1,25$) на 30%. Расход записания $\bar{Q}_{cc} = 0,1$, а у базового клапана $\bar{Q}_{cc} = 0,125$. Затраты

мощности на записание $\bar{N}_{cc} = \bar{P}_{cc} \bar{Q}_{cc} = 1,62 \cdot 0,1 = 0,162$, что в пересчете на абсолютные значения (при одинаковой площади «горла») в 2,8 раза меньше, по сравнению с базовым клапаном.

4. Экспериментально определенные рабочие параметры и характеристика вихревого клапана конструкции ВК-Р-2ДР могут служить основанием для инженерных расчетов и проведения верификации математических моделей течения в клапане на различных режимах работы: “ON”, “OFF”, “ON-OFF”.

5. Оценка адекватности разработанной математической модели течения в вихревом клапане ВК-РС-2ДР осуществлена по интегральному критерию – коэффициенту расхода клапана. Расчетное значение приведенного коэффициента расхода $\mu_{0clc} = 2,92$ и экспериментальное $\mu_{0exp} = 2,9$ отличаются менее чем на 1%.

6. По результатам математического моделирования удалось установить, что асимметрия расположения канала питания приводит к неравномерности распределения скорости в «горле» вихревого клапана, по радиусу, высоте и углу поворота в диффузорах. Вследствие этого диффузор работает не полным сечением, с отрывом потока от стенки, прилегающей к вихровой камере. В данной конструкции удалось существенно приблизиться к максимально возможному значению коэффициента расхода $\mu_{0max} \rightarrow 5$ [4].

7. Для дальнейшего повышения коэффициента расхода необходимо выполнить специальное профилирование проточной части, обеспечивающее равномерный профиль скорости на входе в радиальные диффузоры, что представляет самостоятельную научную задачу.

Литература

1. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: в 2-х т. Т. 1; пер. с англ. / Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. – М.: Мир, 1990. – 384 с.
2. Гарбарук А.В., Стрелец М.Х., Шур М.Л. Современные подходы к моделированию турбулентности. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 234 с.
3. Дейч М.Е., Зарянкин А.Е. Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин. – М.: Энергия, 1970. – 384 с.
4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическому сопротивлению. – М.: Машиностроение, 1975. – 560 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
6. Приходько А.А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене / Приходько А.А. – К.: Наукова думка, 2003. – 380 с.
7. Роуч П. Вычислительная гидродинамика; пер. с англ. Роуч П. – М.: Мир, 1981. – 612 с.
8. Сёмин Д.А. Разработка и совершенствование характеристик крупномасштабных вихревых клапанов. Дисс. канд. техн. наук. – Луганск, 1992. – 203 с.
9. Сьомін Д.О. Вихрові виконавчі пристрої: в 2-х частинах. Ч.1 Однорідні робочі середовища: монографія /

Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Мальцев Я.І., Войцеховський С.В., Роговий А.С., Дмитрієнко Д.В., Мальцева М.О. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2009. – 284 с.

10. Сьомін Д.О. Підвищення ефективності переміщення вантажів трубопровідним транспортом засобами струминної арматури: Дис. д-ра техн. наук: 22.05.12 Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2004. – 381 с.

11. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: в 2х томах: пер. с англ. Флетчер К. – М.: Мир, 1991.

References

1. Anderson D. Computational hydromechanics and heat transfer: In 2 volumes. Vol. 1: Per. from English / Anderson D., Tannehill J., Pletcher R. // М.: Mir, 1990. – 384 p.

2. Garbaruk A.V., Strelets M.Kh., Shur M.L. "Modern approaches to turbulence modeling". – St. Petersburg, Polytechnic Institute. University, 2016. – 234 p.

3. Deich M.E., Zaryankin A.E. Gas dynamics of diffusers and exhaust pipes of turbomachines. – М.: Energy, 1970. – 384 p.

4. Idelchik I.E. Handbook of hydraulic resistances. – М.: Mechanical Engineering, 1975. – 560 p.

5. Loytsyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. – М.: Bustard, 2003. – 840 p.

6. Prikhodko A.A. Computer technologies in aerohydrodynamics and heat and mass transfer / Prikhodko A.A. // К.: Naukova dumka, 2003. – 380 p.

7. Roach P. Computational fluid dynamics: Per. from English / Roach P. // М.: Mir, 1981. – 612 p.

8. Semin D.A. Development and improvement of the characteristics of large-scale vortex valves. Diss. Cand. tech. sciences. Lugansk, 1992, 203 p.

9. Somin D.O. Vortex viconavchy annexes: In 2 parts. Part 1 Monograph / Somin D.O., Pavlyuchenko V.O., Maltsev Ya.I., Voytsekhovskiy S.V., Rogovy A.S., Dmitriyenko D.V., Maltseva M.O. – Lugansk: view of SNU im. Dahl, 2009. – 284 p.

10. Somin D.O. Advancing the efficiency of shifting vantages by pipeline transport using string fittings: Dis. Dr. tech. Sciences: 05.22.12 / Skhidnoukraïnskiy national un-t im. Volodymyr Dahl. – Luhansk, 2004. – 381 p.

11. Fletcher K. Computational methods in fluid dynamics: In 2 volumes: Per. from English / Fletcher K. // М.: Mir, 1991.

Syomin D.A., Levashov Y.N., Yatsenko A.A.

RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF VORTEX VALVES WITH TWO-WAY OUTLET WITH RADIAL

DIFFUSERS AND RADIAL POWER SUPPLY CHANNEL

The results of mathematical and physical modeling of flow hydrodynamics in a vortex valve with a two-way outlet with radial diffusers and a radial supply channel are presented. The numerical solution of the equations of three-dimensional turbulent flow made it possible to establish the kinematic picture of the flow in the valve. The operating characteristic and the main parameters of the valve have been experimentally determined.

Key words: vortex valve, two-way outlet, radial diffuser, radial feed channel, mathematical model of flow, Reynolds equation, turbulence model, operating characteristic, flow coefficient, blocking parameters.

Сємін Дмитрій Александрович, д.т.н., професор кафедри «Прикладна математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганський державний університет імені Володимира Даля».

E-mail: sdaa261@ukr.net

Syomin Dmitry, Doctor of Technical Sciences, Professor of the department "Applied Mathematics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Левашов Ярослав Николаевич, асистент кафедри «Прикладна математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганський державний університет імені Володимира Даля».

E-mail: xpioneerx@mail.ru

Levashov Yaroslav, assistant of the Department of «Applied Mathematics», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Яценко Аліса Антоновна, студентка групи ИТ-791м кафедри «Прикладна математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганський державний університет імені Володимира Даля».

Yatsenko Alisa, student of the IT-791m group of the Department "Applied Mathematics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры транспортных технологий, ГОУ ВО ЛНР «Луганський державний університет імені Володимира Даля».

Статья подана 29.04.2021

УДК 656.07(1-73):(477.62)

КОРПОРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**Скирневская Л.Н.****CORPORATE MANAGEMENT THE ENTERPRISES OF A TRANSPORT COMPLEX OF DONETSK FOLK REPUBLIC****Skirnevskaya L.N.**

В материале статьи охарактеризовано формирование развитие транспортного комплекса ДНР, в том числе его корпоративной составляющей, с позиций предпосылок и тенденций, сложившихся вследствие его длительного пребывания в транспортной системе Украины. Раскрыто влияние процесса украинской приватизации на корпоративное управление транспортными предприятиями (приватизационный подход к исследованию проблем развития корпоративного транспортного комплекса ДНР). Рассмотрены условия формирования корпоративной предпринимательской среды в транспортной отрасли Украины и их влияние на корпоративное управление транспортными предприятиями в ДНР (предпринимательский подход). Обосновано, что развитие корпоративных отношений в транспортной отрасли ДНР целесообразно активизировать в форме государственно-частного партнерства, особенно в виде концессий (концессиональный подход). Определены приоритеты инновационно-инвестиционного развития корпоративного транспортного сектора в ДНР.

Ключевые слова: транспортный комплекс, рынок транспортных услуг, корпоративные отношения, корпоративное управление, приватизация, предпринимательская среда, государственно-частное партнерство, концессии, корпоративный транспортный сектор.

Введение. Транспортный комплекс ДНР развивается с учетом особенностей, связанных с длительным пребыванием транспортных предприятий в составе транспортной отрасли Украины. Поэтому для выявления закономерностей и направлений ее развития необходимо рассматривать условия функционирования экономики транспортной отрасли в Украине с присущими ей критериями эффективности, технико-эксплуатационными показателями, системами анализа деятельности субъектов транспортной отрасли и тому подобным. На ухудшение финансово-экономического положения субъектов рынка транспортных услуг существенно повлияли: спад производства в грузоформирующих отраслях экономики страны; необоснованно быстрые темпы

приватизации и разукрупнения предприятий; потеря государством функций управления субъектами транспорта в условиях правового вакуума в сфере формирования рынка транспортных услуг; либерализация ценообразования на топливно-энергетические ресурсы, наибольшими потребителями которых являются предприятия транспорта; высокий уровень налоговой нагрузки; низкий уровень менеджмента, абсолютно неподготовленного к жесткой конкурентной борьбе в условиях нарастающего влияния «теневых бизнеса» в сфере транспортного обслуживания. Кроме того, необходимо учитывать индекс роста цен на услуги, который во многом объясняется ростом цен на топливо и другие материально-технические ценности. Это ведет к росту убыточности отдельных видов транспорта, снижению рентабельности и возможностей возобновления их провозных возможностей, что подтверждается общими статистическими данными по транспортной отрасли.

Невзирая на имеющиеся «унаследованные» объективные трудности, при условии активизации корпоративных отношений в транспортной сфере ДНР, а также проведение целеустремленной инвестиционной политики и предоставление государственной поддержки перевозчикам, отечественный сектор транспортных услуг может стать важным фактором повышения конкурентоспособности продукции, фактором, содействующим расширению участия транспортных предприятий в межгосударственных производственно-сбытовых цепочках и источником увеличения доходов от продажи собственно услуг по перевозке как грузов и пассажиров.

Анализ результатов исследований и публикаций. Вопросы разработки направлений развития транспортного комплекса государства изучались значительным количеством исследователей. По итогам исследований, проведенных Астаповой Г.В. [1-5, 11, 17], Ледомской С.Ю. [10], Ю. Петруней [12]

обоснованно, что объективно приватизация выступает экономической предпосылкой создания эффективного собственника, в том числе в транспортной отрасли. Исследователями определено и охарактеризованы три формы украинской приватизации – «нерыночную», массовую сертификатную, «денежную», отмечены их недостатки и особенности. Обоснованно инвестиционную модель приватизации та необходимость ее реализации в предприятиях авиационного транспорта. Г. Астаповой и Л. Скирневской [5] обоснована эффективность реализации инвестиционной и корпоративно-трудовой моделей приватизации в процессе восстановления авиатранспортных предприятий ДНР на основе обеспечения корпоративного участия физических и юридических лиц в уставном капитале, но не представлена технология осуществления данного процесса.

Вопросы корпоративного управления предприятиями транспорта рассмотрены в работах Г. Астаповой, В. Щелкунова, С. Мизюк, В. Мизюк, О. Буглак [17], Е. Бойко [6], В. Ильчука [8], С. Подрезы [13], Е. Сыча [14, 15]. Г. Астаповой разработана методология корпоративного управления авиапредприятиями на основе неотехнократической теории трудовой собственности. В. Щелкунов, Е. Сыч, Е. Бойко, В. Ильчук, С. Мизюк, В. Мизюк, О. Буглак рассматривают корпоративное управление транспортными предприятиями в контексте активизации инвестиционных, операционных, инновационных процессов на транспорте. Ю. Кулаев [9], С. Подреза, Е. Петропавловская, А. Гурина [13] исследуют корпоративное управление с позиций обеспечения эффективности операционной деятельности транспортных предприятий. Г. Астаповой, Е. Устиновой, О. Костенко [2], О. Омеляненко, С. Омеляненко [3], М. Колесником [16], М. Милявским [11], Р. Щербанем [2] раскрыты функциональные элементы системы корпоративного управления транспортными предприятиями – корпоративный анализ, планирование, координация деятельности, контроль, стимулирование. Вместе с тем, авторы не выработали единых методических подходов к обеспечению функционирования системы и организации процесса корпоративного управления предприятиями транспорта. Таким образом, отсутствие результатов системного исследования процесса корпоративного управления транспортными предприятиями не позволяет сформировать условия функционирования эффективного корпоративного транспортного комплекса. Системный подход к обеспечению эффективности корпоративного управления транспортными предприятиями основывается на установлении единых принципов корпоративного участия в уставном капитале, корпоративного стимулирования инновационной активности и

корпоративного взаимодействия участников рынка транспортных услуг.

Целью исследования выступает систематизация подходов к определению специфики и особенностей корпоративного управления предприятиями транспортного комплекса ДНР для последующего определения приоритетов его эффективного функционирования.

Изложение основных материалов. Следует отметить, что специфика работы транспортного комплекса как активного элемента взаимодействия в системе «производство-транспорт-потребление» объективно исключает неэффективное функционирование транспортных предприятий и указывает на наличие условий формирования благоприятной предпринимательской среды через функционирование частных и коллективных (корпоративных) предприятий. Вместе с тем, в транспортной отрасли действует значительное количество природных монополистов, что обуславливает формирование особых подходов к корпоративному управлению. Кроме того, среди транспортных предприятий присутствуют большие технологично неделимые хозяйственные комплексы (речь идет о промышленном транспорте), требующие значительных капиталовложений, и поэтому способные развиваться только в условиях наличия возможностей привлечения инвестиций, то есть в условиях наличия корпоративных отношений.

Проведение реформ в транспортной отрасли предусматривает необходимость выделения особенностей этой сферы, в частности:

во-первых, среди предприятий транспорта и связи присутствует большое количество естественных монополистов, реформирование которых нуждается в особых подходах;

во-вторых, транспорт и связь имеют большое значение для осуществления государством своих функций, что заметно ограничивает возможности приватизации в этой сфере. Законом Украины «О приватизации государственного имущества» от 04.03.92 г. № 2163-ХІІ, была запрещена приватизация предприятий железнодорожного транспорта, магистральных газо- и нефтепроводов, городского электротранспорта, метрополитена, причалов всех категорий и тому подобного;

в-третьих, среди предприятий транспорта и связи присутствует относительно большое количество гигантских, технологически неделимых хозяйственных комплексов, функционирование и развитие которых нуждаются в больших капиталовложениях;

в-четвертых, услуги транспорта и связи принадлежат к социальным услугам первой необходимости, и потому подлежат государственному регулированию [2].

Указанные особенности транспорта наложили определенный отпечаток на темпы проведения рыночных реформ в данной сфере, в частности на ход приватизации, который можно условно

разделить на два этапа. На **первом**, который приходится на 1992-2000 гг. происходила приватизация малых и средних предприятий, а также акционирование больших имущественных комплексов и естественных монополистов. Начиная приблизительно с 2000 г., в отрасли транспорта и связи начался **второй этап приватизации**. В экономике страны этот этап связан с переходом от приватизации малых и средних предприятий к разгосударствлению больших имущественных комплексов и естественных монополистов. Однако, процесс реформирования больших предприятий в транспортной отрасли не был широко распространенным. В этот период закончилась сертификатная приватизация и начался ее новый денежный этап. Также приблизительно с 2000 г. началась активизация процессов децентрализации управления и либерализации ценообразования.

Практический опыт процессов разгосударствления и корпоратизации государственных транспортных предприятий обнаружил совсем противоположные ожидаемым результаты. На первом этапе наиболее известным позитивным примером разгосударствления в транспортной отрасли можно считать приватизацию межотраслевого государственного объединения «Укрречфлот». В 1992 г. «Укрречфлот» был реорганизован в государственную акционерную судоходную компанию, в которой 50 % акций принадлежали государству. Через 4 года, выкупив в государства ее пакет акций, компания превратилась в акционерную судоходную компанию «Укрречфлот» без доли государственного имущества, с того времени компания хозяйничает самостоятельно, определяя собственный курс в рыночной среде. Одним из наиболее известных негативных примеров реструктуризации транспортного предприятия есть разгосударствление Черноморского морского пароходства (ЧМП). Именно с помощью акционирования ЧМП в середине 90-х годов XX ст. возникли условия для полной распродажи его имущества по сниженным ценам, точнее за бесценок, в результате чего Украина фактически перестала существовать как ведущее морское государство. В конце 2002 г. ЧМП был признан банкротом с внешним долгом в 82 млн. дол. США, а внутренним (по зарплате) – 19 млн. грн. Если принять во внимание, что имущество ЧМП оценивалось в 50 млн. дол. США, то становится понятным, что развязать его проблемы без вмешательства государства становится невозможным [2].

Можно приводить и другие примеры, когда в результате корпоратизации управляемость государственных предприятий лишь ухудшилась, возникала бесконтрольность руководства государственных предприятий, которое сопровождалось следующим теневым разгосударствлением имущества. Например,

«Нефтегаз», будучи акционерной компанией, длительное время находится на грани банкротства, ни одну самостоятельность в принятии своих решений не имеет, фактически существует за счет системы государственных дотаций в форме постоянного увеличения его уставного капитала. Таким образом, констатировано отсутствие прямой связи между корпоратизацией и повышением эффективности хозяйственной деятельности и менеджмента предприятий, между корпоратизацией и образованием условий для привлечения инвестиций в корпоративную предпринимательскую среду. Существует и противоположная точка зрения относительно корпоратизации государственных предприятий как механизма повышения их эффективности. При этом называются такие позитивы корпоратизации, как возможность определять реальную цену предприятия, лучшее работать на рынке, принимать более гибкие решения, привлекать кредиты и упростить проведение тендеров [6].

Однако опыт корпоратизации показывает, что она не является панацеей от экономических проблем предприятий государственного сектора экономики. К сожалению, эти факторы не учитывались при формировании законодательной базы, регулирующей процессы разгосударствления в транспортной отрасли. В 2002 г. был принят Закон «Об особенностях реформы железнодорожной отрасли», а позднее 23.02.2012 г. Верховной Радой был принят Закон Украины «Об особенностях образования публичного акционерного общества железнодорожного транспорта общего пользования», который был направлен на подпись Президента Украины. Указанные законы, несмотря на десятилетний перерыв, предусматривали акционирование Укржелдортранса на основе концепции приватизации предприятий железнодорожного транспорта, исходя из абстрактной идеи, что корпоратизация сама по себе может решить проблемы управления в отрасли.

Результаты исследований. Задачами проведения реформ по обеспечению функционирования железнодорожного комплекса по законам рыночной экономики было провозглашено осуществление финансового отделения естественно монопольного сектора (инфраструктуры) от эксплуатационной деятельности и создание организационно-экономических и правовых условий для развития конкуренции в сфере эксплуатации транспортных средств, использования рыночных механизмов для повышения конкурентоспособности железнодорожной отрасли на рынке транспортных услуг. Формирование конкурентной среды и активизация конкуренции в потенциально конкурентном секторе железнодорожной отрасли сопровождается эволюцией форм собственности и последующим развитием производительных сил, которое приводит к росту возможностей в части привлечения частных инвестиций в обновление

подвижного состава, который в настоящее время является физически изношенным и морально устаревшим [6].

Приватизация в сфере транспорта является одной из основных предпосылок развития корпоративных отношений и предпринимательства в этом секторе, а также формирования рынка транспортных услуг. В период 2002-2009 гг. количество предпринимательских структур в транспортной отрасли Украины росло. Это было предопределено, в том числе, и через благоприятную конъюнктуру рынка транспортных перевозок, сложившуюся в этот период, что обеспечило относительную стабильность развития транспортных предприятий. Наибольшее развитие предпринимательства имело место на автомобильном транспорте. Ведь, в отличие от других видов транспорта, для открытия автопредприятия не нужно делать больших капиталовложений. Поэтому на рынке автомобильных перевозок работает большое количество малых предприятий и индивидуальных перевозчиков [6]. Вместе с тем, невзирая на то, что демополизация была определена магистральным направлением реформирования экономики, можно наблюдать неодинокые случаи, когда работа большой монополярной структуры является эффективнее, чем несколько мелких, конкурирующих структур между собой. Это касается как естественных монополистов, так и некоторых видов деятельности, для нормального развития и конкурентоспособности которых необходимо иметь относительно большие размеры. В отдельных случаях на современном этапе технико-технологического развития монополярные образования компенсируются преимуществами крупномасштабного производства.

Конкуренция между поставщиками транспортных услуг является важной составляющей рыночных отношений в транспортной сфере, для которой необходимы такие предпосылки: относительная автономность предприятий, отработан механизм общего использования единственной инфраструктуры, определен порядок расчета за услуги вспомогательных служб. Все эти предпосылки наиболее свойственны для автомобильного транспорта, что обусловили высокий уровень приватизации и конкуренции в них. Другие виды транспорта нуждаются в специальных подходах для внедрения конкурентных отношений, которые, в том числе, основываются на конкурсе за право использования отдельных участков единственной транспортной сети.

Либерализация, как одно из направлений рыночного реформирования, опираясь на законодательную и нормативно-правовую основу, получает все большее распространение в новых подходах к организации транспортного обслуживания, становится общим принципом функционирования всей отрасли. Транспорт со всем

комплексом сопутствующих услуг стал значительным экономическим субъектом в инфраструктуре рыночной экономики. Экономический аспект транспортировки начинает рассматриваться как элемент общественного производства в целом.

Необходимость государственного регулирования транспортного рынка обуславливается особенностями функционирования и развития отдельных видов транспорта в интересах общественной безопасности и обеспечения эффективности национальной экономики. Объективным основанием такого регулирования являются следующие обстоятельства.

Во-первых, необходимость защиты экологии страны, поскольку транспорт является одним из наибольших загрязнителей окружающей среды, через государственный контроль за эксплуатацией транспортных средств в интересах общественной безопасности.

Во-вторых, регулирование естественного монополизма отдельных видов транспорта со стороны государства для обеспечения конкуренции и стимулирования хозяйственного развития и социальной защиты граждан.

В-третьих, проведение общей транспортной и инвестиционной политики государства для равномерного и экономически целесообразного развития отдельных видов транспорта в стране становится крайне необходимым, поскольку транспорт относится к числу капиталоемких отраслей экономики.

В-четвертых, повышение уровня вмешательства государства в регулирование транспортного рынка и тарифов для защиты национальных интересов, потому что расходы общества на функционирование и развитие транспорта очень велики.

В-пятых, международное взаимодействие транспортных предприятий часто требует межгосударственных соглашений на правительственном уровне.

По мнению Е. Бойко, в большинстве случаев дорогая инфраструктура транспорта (железнодорожная сеть, автодорожные магистрали, порты, аэропорты) должна находиться в государственной собственности. В случаях, когда приватизация государственного имущества невозможна, повысить эффективность его использования можно путем аренды или концессии. В первую очередь это касается автодорог, объектов морского, железнодорожного и трубопроводного транспорта. В определенных кризисных условиях государство полностью контролирует работу отдельных видов транспорта (например, железнодорожного), которые являются основными перевозчиками в стране. Критериями уровня государственного регулирования развития транспортной отрасли должны стать эффективность и качество транспортного обслуживания

потребителей при сравнении разных форм собственности на транспорте, обеспечения стимулирующей роли транспорта в развитии экономики и социальной жизни общества.

С целью концентрации индивидуальных усилий и экономического поощрения непосредственных участников – работников транспортной отрасли, необходимо дать возможность эффективнее использовать для развития имеющиеся и привлекать новые ресурсы, что позволяет развитие корпоративных отношений. Следовательно, транспортный сектор экономики нуждается в особенных подходах к своему развитию. Его характерной особенностью является качественная неоднородность отдельных составных частей, которые выполняют одинаковую функцию, – перевозки пассажиров и грузов. При этом одни виды транспорта являются капиталоемкими (железнодорожный, трубопроводный и тому подобное), другие — наоборот (автомобильный). На железнодорожном транспорте работают намного больше работников, чем, например, на трубопроводном. Отдельные виды транспорта несут большую социальную нагрузку (городской общественный транспорт, пригородный железнодорожный), в то время как для других это совсем не характерно (трубопроводный). Железнодорожный транспорт – является классическим естественным монополистом, признаки которого совсем не присущи, например, автомобильному транспорту. Таким образом, внедрение и развитие корпоративных отношений в отдельных составных частях транспортного комплекса нуждается в разных подходах и методах. Таким образом, основными предпосылками развития корпоративных отношений в транспортной сфере выступают – приватизация и демонаполизация, децентрализация управления, либерализация ценообразования, развитие предпринимательской инициативы.

Формирование корпоративного транспортного сектора экономики ДНР должно проходить на принципах постепенности и всестороннего учета особенностей отдельных видов транспорта, интересов работников сферы транспортных услуг и потребителей транспортной продукции. В настоящее время транспортный комплекс ДНР включает автомобильное, железнодорожное направления и направление городской электрический транспорт. Авиационный транспорт в ДНР в настоящее время не функционирует, что обусловлено военно-политической ситуацией и непригодностью к эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры.

Пассажирами перевозками автомобильным транспортом занимаются 330 перевозчиков, из которых 90 % – физические лица – предприниматели (ФЛП), а 10 % юридические лица разных форм собственности. Удельный вес автопредприятий частной и коллективной форм

собственности составляет 57 %. Доля ФЛП в общем объеме пассажирских перевозок составила 63,2 %, а юридических лиц – 36,8 % [4]. Социальная деятельность предприятий автомобильного транспорта связана с бесплатным обслуживанием пассажиров льготных категорий, гуманитарное предоставление транспортных средств для доставки детей в оздоровительные лагеря (в 2017 г. – 237 ед.), транспортным обеспечением Республиканских мероприятий и различных социальных акций (в 2017 г. – 290 транспортных средств) [4].

Железнодорожный транспорт ДНР представлен только одним предприятием государственной формы ГП «Донецкая железная дорога», которое обеспечивает потребности населения и предприятий Республики в перевозке грузов. Социальная деятельность ГП «Донецкая железная дорога» связана с перевозкой пассажиров льготных категорий, проведением социальных акций, содержанием 9 объектов социальной инфраструктуры, из них 6 – объекты культурного назначения (Музей истории Донецкой железной дороги, Детский дом культуры, Детская железная дорога в г. Донецке, Парк культуры и отдыха железнодорожников и Дом науки и техники в г. Ясиноватая, Дом науки и техники в г. Иловайск) и 3 – объекты спортивного назначения (ДФСК «Локомотив» (в состав которого входят комплексы в городах Донецк, Иловайск, Дебальцево, Ясиноватая), стадион «Локомотив» в г. Ясиноватая, конноспортивная база «Локомотив» в г. Макеевка). Проведение на предприятиях железнодорожного транспорта мероприятия по внедрению необходимого для осуществления перевозочного процесса программного обеспечения автоматизированного рабочего места товарного кассира (АРМ ТВК) выступает фактором роста производительности труда.

В ДНР функционируют 5 коммунальных предприятий городского электрического транспорта в Донецке, Макеевке, Горловке, Енакиеве, Харцызске. По состоянию на 01.01.2020 г. на территории ДНР также работает 36 маршрутов электротранспорта. Социальная значимость предприятий городского транспорта подтверждается наличием и увеличением в динамике показателя доли пассажиров льготных категорий. Доля таких пассажиров, перевезенных на пригородных маршрутах в 2017 г. составила 34 % и возросла по сравнению с 2016 г. на 14 %. Доля пассажиров-льготников, перевезенных на городских маршрутах, в указанный период составила 49 %, незначительно снизившись (на 1 %) по сравнению с 2016 г. (50 %) [4]. Согласно данным Министерства транспорта ДНР всеми видами транспортных средств на регулярных маршрутах общего пользования в среднем по Республике ежедневно перевозится более 500 тысяч пассажиров, из них правом на льготную перевозку пользуется 38 % пассажиров на внутригородских автобусных маршрутах, 63 % на

маршрутах электротранспорта и 22 % на пригородных маршрутах. За 2018 год Министерством транспорта было выдано более трех тысяч временных разрешений на различные виды перевозок. Общая сумма поступлений в бюджет от выдачи разрешительных документов составила порядка 5 миллионов рублей.

Необходимо отметить, что на 01.01.2019 г. в Республике более 1,5 тысяч субъектов хозяйствования осуществляют свою деятельность по перевозке пассажиров и опасных грузов в полном соответствии с требованиями законодательства о лицензировании. Из них в отчетном году лицензии получили 646 субъектов хозяйствования. В республиканский бюджет в виде пошлины за выдачу и переоформление лицензий в 2018 году поступило более трех миллионов рублей [4]. Таким образом, структура собственности в транспортной отрасли ДНР является разнородной. Доля транспортных предприятий частной и коллективной собственности в автомобильном направлении составляет 57 %. Железнодорожный транспорт как показатель естественного (природного) монополизма представлен единственным государственным предприятием (ГП) «Донецкая железная дорога». Городской электротранспорт также на 100 % государственный (коммунальный). Вместе с тем, использование экономических преимуществ корпоративных отношений не исключается, поскольку государство выступает субъектом корпоративного управления. В структуре транспортного комплекса ДНР отсутствует промышленное направление. Промышленный транспорт, как правило, обслуживает нужды своих предприятий и относится к некоммерческому, являясь частью инфраструктуры предприятий. Вместе с тем, он осуществляет перевозки внутри цехов и между ними, обеспечивает связь цехов и складов, а также связь с магистральным транспортом при вывозе-завозе сырья и продукции.

Промышленный транспорт – это совокупность транспортных средств, сооружений и путей промышленных предприятий, предназначенных для обслуживания производственных процессов, перемещения сырья, полуфабрикатов и готовой продукции на территории обслуживаемого предприятия. Промышленный транспорт выполняет технологические перевозки, т.е. перемещение топлива и сырья в локальных границах предприятий (внутренние технологические перевозки), и ввоз (вывоз) грузов на другие виды транспорта (внешние перевозки). Основное назначение промышленного транспорта заключается в осуществлении перевозок и грузопереработки, связанных с деятельностью предприятий, строек и организаций по обеспечению внутризаводского обмена. Промышленный транспорт выполняет технологические перевозки, т.е. осуществляет перемещение сырья, полуфабрикатов, топлива, готовой продукции в

локальных границах предприятий с целью обеспечения производственного процесса, а также перевозки на начальных и конечных участках транспортной системы – ввоз и вывоз грузов с, предприятий. В состав промышленного транспорта входят все виды транспорта, составляющие транспортную систему, а также специфические виды транспорта, но основными являются железнодорожный, автомобильный и трубопроводный транспорт. Специфические виды транспорта – транспорт непрерывного действия, включающий трубопроводы, конвейеры, канатно-подвесные и монорельсовые дороги, пневмо- и гидротранспорт. Ведущую роль промышленный транспорт играет в работе предприятий черной металлургии, угольной, химической отраслей, машиностроении, строительстве, являясь частью инфраструктуры преимущественно отраслей промышленности. Образование эффективного собственника в транспортной отрасли ДНР является возможным путем активизации формирования корпоративного сектора и качественного улучшения корпоративного управления транспортными предприятиями.

Корпоративное управление транспортными предприятиями выступает комплексом экономических взаимодействий между различными субъектами (юридическими лицами – перевозчиками, физическими лицами, государством и т.д.), направленных на обеспечение эффективности и социальной полезности оказания транспортных услуг при соблюдении прав и интересов собственников с учетом социально-экономической специфики организации работы транспорта. Развитие корпоративных отношений в транспортной отрасли ДНР целесообразно активизировать в форме государственно-частного партнерства (ГЧП). Увеличение роли частного капитала в формировании инфраструктурной составляющей рынка транспортных услуг способствует тому, что государство превращается из саморегулируемого поставщика транспортных услуг от независимого регулятора поставок расширяющегося спектра услуг, которые осуществляются корпоративным транспортным сектором. Для каждого государства такое партнерство – это способ привлечения частного капитала к финансированию и управлению той собственностью, которую государство оставляет за собой; а для бизнеса – это способ получить надежные доходы на объектах государственной собственности или в результате предоставления услуг, которые раньше были закреплены за государством.

ГЧП имеет широкий спектр разных форм – разнообразные контракты, арендные (лизинговые) отношения, соглашения о распределении продукции, государственно-частные предприятия, концессии. Как одна из базовых форм ГЧП, концессия находится посередине между

приватизацией и функционированием государственного предприятия; она совмещает в себе элементы аренды, подотряда, лизинга, инвестиционных соглашений и тому подобное и позволяет сбалансировано учитывать широкий круг интересов государства и частного партнера. Современная концессия, за свою сутью, является компромиссом между концессором и концессионером, в пределах которого происходит объединение ресурсов двух экономических секторов – государства (в форме исключительной собственности или исключительных прав) и частного бизнеса (в форме – инвестиций, управления, знаний, «ноу-хау»), в результате чего общество извлекает выгоду в виде более качественного продукта или услуги. Таким образом, по своей научно-практической сути партнерство государства и бизнеса является наиболее эффективным базовым для интеграции возможностей разных субъектов государства и бизнеса с целью реализации общих транспортно-инфраструктурных проектов. Осуществление проектов позволит существенно снизить транспортные расходы при перевозках грузов и пассажиров, повысить безопасность движения, создать экономические основы эффективного диалога пользователей автомобильных дорог и органов государственной власти. Одновременно состоится перераспределение транспортных потоков на сети существующих автодорог, улучшатся условия движения на перегруженных участках при существенной экономии бюджетных средств. Следовательно, одной из проблем развития концессионной деятельности в транспортной отрасли ДНР выступает фактическое отсутствие опыта самостоятельной реализации концессионных проектов.

Формирование и эффективное функционирование корпоративного транспортного сектора на рынке транспортных услуг в ДНР предусматривает реализацию следующих направлений в корпоративном управлении социально-экономическим развитием транспортных предприятий: внедрение ресурсосберегающих технических средств и технологий; оснастка отдельных видов транспорта подвижным составом нового поколения, эффективными машинами, механизмами, современными устройствами пути, сигнализации и т.д.; социальной защиты работников транспорта с помощью создания дополнительных рабочих мест и диверсификации направлений деятельности; развитие интермодальных и мультимодальных перевозок.

Выводы. Для ДНР одним из направлений обеспечения социально-экономического роста определенно инновационно-инвестиционное развитие корпоративного транспортного сектора. Основными приоритетами формирования эффективно функционирующего корпоративного транспортного комплекса ДНР выступают: использование преимуществ корпоративных

отношений (долевого участия) для восстановления и модернизации предприятий и объектов транспортной инфраструктуры (аэропортов, железнодорожной сети, автомагистралей, промышленного транспорта); формирование и развитие корпоративного взаимодействия участников рынка транспортных услуг по продвижению инновационных видов транспортных услуг (интермодальные и мультимодальные перевозки) и инновационных видов транспорта (электробусов, монорельсы, БЛА, работающих на биотопливе); применение корпоративно-управленческого стимулирования инновационной активности работников транспортных предприятий (премирование и предоставление корпоративных долей по результатам индивидуальной инновационной деятельности).

Л и т е р а т у р а

1. Астапова Г.В. Організаційно-економічний механізм корпоративного управління авіапідприємством на основі права трудової власності: монографія / Г.В. Астапова. – К., НАУ, 2006. – 244 с.
2. Астапова Г.В. Вдосконалені механізми економічного і матеріального стимулювання працівників корпоративних підприємств авіаційного транспорту: монографія / Г.В. Астапова, Н.І. Новікова, О.К. Костенко, Р.С. Щербань, О.В. Устінова – Донецьк: ТОВ «Юго-Восток», 2012. – 192 с.
3. Астапова Г.В. Обеспечение энергоэффективности функционирования авиатранспортных предприятий / Г.В. Астапова, С.Л. Омеляненко, О.А. Абазина (Омеляненко) // Символ науки: международный научный журнал. – М.: ООО «Омега Сайнс», 2015. – № 7. – С. 67–69.
4. Астапова Г.В. Обоснование целесообразности реализации инерционного сценария экономического развития транспортной отрасли ДНР / Г.В. Астапова, Л.Н. Скирневская // Проблемы и перспективы развития транспортной отрасли: сб. науч. тр. по материалам IV Респуб. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов, 12 апр. 2018 г. // Министерство транспорта ДНР, Донецкая академия транспорта. – Донецк: ДАТ, 2018. – С. 119–121.
5. Астапова Г.В. Использование инвестиционной и корпоративно-трудовой моделей приватизации в процессе восстановления функциональности Днепровского аэропорта / Г.В. Астапова, Л.Н. Скирневская // Перспективы социально-экономического развития приграничных регионов: материалы V науч.-практ. конф. с междунар. участием, 08 июня 2018 г. – Петрозаводск: Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», 2018. – С. 32–36.
6. Бойко О.В. Ринок транспортних послуг: основи методології розвитку: монографія / О.В. Бойко. – К.: Кондор-Видавництво, 2014. – 494 с.
7. Государственно-частное партнерство в инновационной сфере: мировой опыт и перспективы России / Р.М. Нижегородцева, С.М. Никитенко, Е.В. Госсен. – Кемерово: ООО «Сибирская издательская группа», 2012. – 482 с.
8. Ильчук В.П. Інноваційно-інвестиційні системи залізничного транспорту: становлення та розвиток: монографія / В.П. Ильчук; за ред. д-ра екон. наук, проф. С.М. Сича. – К.: Логос, 2004. – 381 с.
9. Кулаев Ю.Ф. Экономика гражданской авиации Украины: монография / Ю.Ф. Кулаев, В.И. Щелкунов. – К.: Изд-во «Феникс», 2010 – 736 с.
10. Ледомская С.Ю. Сертификатная приватизация завершается / С.Ю. Ледомская // Государственный

информационный бюллетень о приватизации. – 1999. – № 2. – С. 3–5.

11. Мілявський М.Ю. Аналіз схем корпоративного захоплення промислових підприємств / Г.В. Астапова, М.Ю. Мілявський // Вісник Донецького університету економіки та права. Серія: Економіка та управління. – 2008. – № 1–2. – С. 139–146.

12. Петруня Ю. Інсайдери та аутсайдери в корпоративній моделі України / Ю. Петруня // Банківська справа, 1998. – № 4. – С. 42–46.

13. Подреза С.М. Авіаційний і промисловий маркетинг / С.М. Подреза, С.Е. Петропавлівська, О.А. Радченко, А.С. Гуріна. – К., 2005. – 376 с.

14. Сич Є.М. Закони економіки транспорту: монографія / Є.М. Сич, В.М. Кислий. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2009. – 160 с.

15. Сич Є.М. Інноваційно-інвестиційні комплекси транспортної галузі: методологія формування та розвитку: монографія / Є.М. Сич, В.П. Ільчук. – К.: Логос, 2006. – 264 с.

16. Тофанчук А.Т. Соціально-економічні особливості інноваційного процесу / А.Т. Тофанчук, М.В. Колесник // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури: зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2010. – Вип. 26. – С. 61–68.

17. Щелкунов В.І. Методи забезпечення фінансової стійкості та інвестиційної привабливості авіапідприємств корпоративного типу: монографія / В.І. Щелкунов, С.Г. Мізюк, Г.В. Астапова, В.В. Мізюк, О.В. Буглак. – К.: Наук. думка, 2007. – 160 с.

References

1. Astapova G.V. Organizational and economic mechanism of corporate management авіапідприємством on the basis of right of labour ownership: monograph / G.V. Astapova. – K., NAU, 2006. – 244 p.

2. Astapova G.V. Vdoskonalenni mekhanizmi ekonomichnoho i material'noho stimulyuvannia pidpriemnyv korporatyvnykh pidpriemstv aviatsiynoho transportu: monograph / G.V. Astapova, N.I. Novikova, O.K. Kostenko, R.E. Scherban', O.V. Ustinova. – Donetsk: LTD «Yugo-vostok», 2012. – 192 p.

3. Astapova G.V. Ensuring energy efficiency of air transport enterprises / G.V. Astapova, S.L. Omel'yanenko, O.A. Abasin (Omel'yanenko) // Symbol of science: international scientific journal. – M.: Omega Science LLC, 2015. – N 7. – P. 67–69.

4. Astapova G.V. Substantiation of inexpediency of realization of the inertial scenario of economic development of transport branch of DNR / G.V. Астапова, Л.Н. Skirnevskaya // Problems and prospects for the development of the transport industry: Sat. scientific tr. on materials IV Republic. scientific-practical conf. of young scientists and students, 12 Apr. 2018 // Ministry of Transport of the DNR, Donetsk Academy of Transport. – Donetsk: DATS, 2018. – P. 119–121.

5. Astapova G.V. Ipol'zovanie investment and corporately-labour models of privatization in the process of renewal the functionality of the Donetsk airport / G.V. Astapova, L.N. Skirnevskaya of // Prospects for socio-economic development of border regions: materials of the V scientific-practical. conf. with international participation, June 8, 2018 - Petrozavodsk: Federal Research Center "Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences", 2018 – P. 32–36.

6. Boyko O.V. Market of transport services: basics of development methodology: monograph / O.B. Boyko. – K.: Kondor-vidavnictvo, 2014. – 494 p.

7. State-private partnership is in an innovative sphere: world experience and prospects of Russia / R.M. Nizhegorodceva, S.M. Nikitenko, E.V. Gossen. – Kemerovo: LLC «Siberian Publishing Group», 2012. – 482 p.

8. Il'chuk V.P. Innovative-investment systems of railway transport: becoming and development: monograph / V.P. Il'chuk; for order. Dr. Econ. Sciences, Prof. E.M. Sich. – K.: Logos, 2004. – 381 c.

9. Kulaev Yu.F. Economics of civil aviation of Ukraine: monograph / Yu.F. Kulaev, V.I. Schelkunov. – K.: Izd-vo «Phoenix», 2010 – 736 p.

10. Ledomskaia S.Yu. Certificate privatization is completed / S.Yu. Ledomskaia // the State news-letter about privatization. – 1999. – N 2. – P. 3–5.

11. Milyavskiy M.Yu. Analysis of charts of corporate fascination of industrial enterprises / G.V. Astapova, M.Yu. Milyavskiy // Announcer of the Donetsk university of economy and right. Series: Economy and management. – 2008. – N 1–2. – C. 139–146.

12. Petrunya Yu. Indsayderi and outsiders in the corporate model of Ukraine / Yu. Petrunya // Banking, 1998. – №4. – С.42–46.

13. Podreza S.M. Aviation and industrial marketing / S.M. Podreza, S.E. Petropavlivska, O.A. Radchenko, A.S. Gurina. – K., 2005. – 376 c.

14. Sich E.M. Laws of economy of transport: monograph / E.M. Sich, V.M. Sour. – Nizhin: Publishing House «Aspect-Polygraph», 2009. – 160 c.

15. Sich E.M. Innovative investment complexes of a transport industry: methodology of forming and development: monograph / E.M. Sich, V.P. Il'chuk. – K.: Logos, 2006. – 264 c.

16. Tofanchuk A.T. Socio-economic features of the innovative process / A.T. Tofanchuk, M.V. Kolesnik of // Problem of increase of efficiency of infrastructure: collection. Science. – K.: NAU, 2010. – Vip. 26. – С. 61–68.

17. Schelkunov V.I. Methods of providing of financial firmness and investment attractiveness of авіапідприємств of corporate type: monograph / V.I. Schelkunov, S.G. Mizyuk, G.V. Astapova, V.V. Mizyuk, O.V. Buglak. – K.: of Sciences. idea, 2007. – 160c.

Skirnevskaya L.N.

CORPORATE MANAGEMENT THE ENTERPRISES OF A TRANSPORT COMPLEX OF DONETSK FOLK REPUBLIC

In material of the article forming is described development of a transport complex DNR, including by his corporate constituent, from positions of pre-conditions and tendencies, folded because of his protracted stay in a transport system of Ukraine. Influence of process of Ukrainian privatization is exposed on a corporate management transport enterprises (privatization going near research of problems of development of a corporate transport complex DNR). The terms of forming of corporate enterprise environment in a transport industry of Ukraine and their influence are considered on a corporate management transport enterprises in DNR (enterprise approach). It is grounded, that development of corporate relations in a transport industry of DNR it is expedient to activate in form state-private partnership, especially as concessions (concessional approach). Priorities of innovative-investment development of a corporate transport sector are certain in DNR.

Key words: transport complex, market of transport services, corporate relations, corporate management, privatization, enterprise environment, state-private partnership, concessions, corporate transport sector.

Скирневская Людмила Николаевна, ведущий экономист, аспирант ГУ «Институт экономических исследований», г. Донецк.

E-mail: luda.skirnevskaya@gmail.com

Skirnevskaya Ljudmila Nickolaevna, leading economist, graduate student GU «Institute of economic researches», Donetsk.

Рецензент: Астапова Галина Викторовна, доктор экономических наук, главный научный сотрудник отдела моделирования экономических систем ГУ «Институт экономических исследований».

Статья подана 29.06.2021

УДК 629.113.004

СПОСОБ ОЦЕНКИ МОЩНОСТНЫХ КАЧЕСТВ ДВС АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Сметана С.А., Сидорченко А.В.

METHOD FOR ASSESSING THE POWER QUALITIES OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE OF A MOTOR VEHICLE

Smetana S.A., Sidorchenko A.V.

В данной работе предлагается способ (электронное измерительное устройство) для оценки мощностных качеств ДВС автотранспортного средства.

Ключевые слова: техническая диагностика, процесс диагностирования, динамический способ, время разгона, время выбега, измерение, диагностический параметр.

Введение. Техническая диагностика – отрасль знаний, изучающая и устанавливающая признаки неисправностей составных частей машин, разрабатывающая методы и средства, при помощи которых дается заключение о техническом состоянии объектов диагностирования, а также принципы построения и организации использования систем диагностирования.

Техническое состояние – совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, характеризуемая в определенный момент времени признаками и параметрами состояния, установленными технической документацией на этот объект.

Результатом диагностирования является заключение о техническом состоянии объекта с указанием при необходимости места, вида и причины дефекта [1].

Для выявления резервов диагностирования огромный интерес представляет анализ связи мощностных показателей с параметрами состояния узлов и систем двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и технологическими показателями автотранспортного средства (АТС).

Анализ последних исследований и публикаций. По результатам многочисленных исследований установлено, что годовая производительность автомобилей к концу срока их служба снижается в 1,5-2 раза по сравнению с первоначальной, снижается безопасность конструкции автомобилей. За срок службы автомобиля расходы на его техническое обслуживание и ремонт превосходят первоначальную стоимость в 5-7 раз. Наиболее полное использование индивидуальных возможностей автомобиля и обеспечение на этой

основе высокой эффективности подвижного состава в процессе эксплуатации может быть осуществлено за счет широкого внедрения в технологический процесс ТО и ремонта диагностирования технического состояния автомобилей.

ДВС является наиболее сложным и ответственным силовым агрегатом автомобиля, нарушение его технического состояния зачастую ведет к простоям и увеличению эксплуатационных издержек [4].

Статистика отказов показывает, что на ДВС приходится около половины отказов автомобиля, а необоснованная разборка ДВС приводит к нарушению взаимной приработки узлов, что снижает его надежность и увеличивает трудоемкость обслуживания [5].

Согласно ГОСТ 14846-81 при диагностировании ДВС должны проверяться структурные параметры или соответствующие им косвенные. Так, например, комплексным обобщающим эксплуатационным показателем технического состояния ДВС, как объекта диагностирования, является его эффективная мощность.

Таким образом, определение мощности ДВС – неотъемлемая часть всего процесса диагностирования и определяющий фактор в постановке диагноза какого-либо элемента, или всего объекта диагностирования в целом [6].

Материалы и результаты исследования. Динамический метод оценки мощностных показателей ДВС заключается в измерении времени разгона коленчатого вала в заданном диапазоне увеличения его угловой скорости. Учитывая, что приведенный момент инерции для данного двигателя величина приблизительно постоянная, то по суммарному количеству оборотов коленчатого вала за время его разгона от заданной минимальной $n_{\min}$ до заданной максимальной $n_{\max}$ частот вращения, можно оценить его эффективную мощность. Чем меньше время, за которое изменяется частота в данном диапазоне, тем выше эффективная мощность [2, 3].

Аналогичным образом определяются механические потери двигателя. В том случае производится измерение времени уменьшения частоты вращения коленчатого вала ДВС от заданной максимальной величины $n_{\max}$ до заданной минимальной $n_{\min}$. Чем больше время, за которое уменьшается частота в данном диапазоне, тем меньше доля затрат энергии на преодоление собственных механических потерь. Зная взаимосвязь мощности с параметрами неисправностей (разрегуливки) можно практически определить потери мощности. И наоборот, контролируя мощность двигателя, выявить наличие предельных значений параметров. Таким образом, очевидно, что мощность – обобщающий диагностический показатель состояния двигателя в условиях эксплуатации.

В данной работе предлагается способ (электронное измерительное устройство, далее устройство) для оценки мощностных качеств ДВС автотранспортного средства.

Структурная схема устройства представлена на рис. 1. Устройство состоит из преобразователя частота – напряжение 1, последовательно с которым включены компараторы напряжения 4 и 5, задатчика $n_{\min}$ и n_{max} 2, электронного коммутатора 3 и логического узла 6, а также счетчиков 7, 9 и узлов индикации 8, 10.

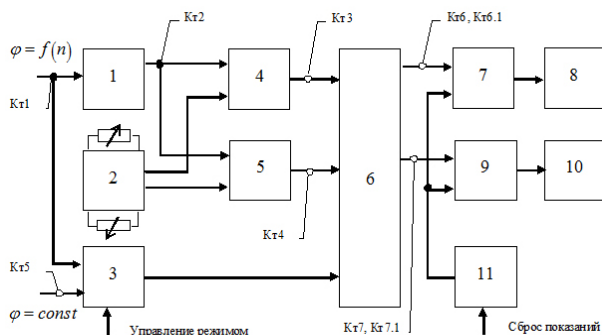


Рис. 1. Структурная схема устройства:

- 1 – преобразователь частота – напряжение; 2 – задатчик;
3 – электронный коммутатор; 4, 5 – компараторы
напряжения; 6 – логический узел; 7, 9 – счетчики
импульсов; 8, 10 – узлы индикации; 11 – узел
формирования импульса сброса

Устройство функционирует в двух режимах (см. рис. 2), первый – измерение времени разгона коленчатого вала ДВС в диапазоне частот вращения от $n_{\min}$ до $n_{\max}$ и времени замедления (выбега) коленчатого вала в диапазоне частот вращения от $n_{\max}$ до $n_{\min}$, второй – подсчет количества циклов работы двигателя за время разгона и замедления в тех же границах частот вращения.

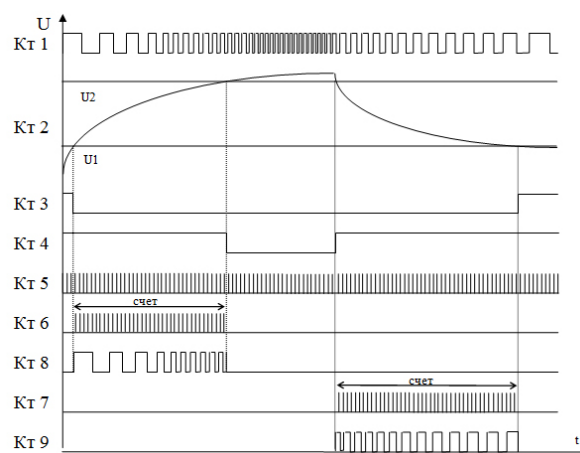


Рис. 2. Эпюры напряжений в контрольных точках устройства

Установка режима производится диагностом и, в зависимости от того, какой режим выбирается, электронный коммутатор 3 пропускает на вход устройства сигналы соответствующие установленному режиму.

Функционирование устройства, рассмотрим начиная с первого режима. Импульсы, пропорциональные частоте вращения коленчатого вала ДВС (Кт. 1), поступают с тахометра автомобиля на вход преобразователя частота – напряжение 1, функция которого может быть представлена экспоненциальной зависимостью $U = f(\varphi)$, где U – выходное напряжение преобразователя, В, φ – частота входного импульсного сигнала, Гц [7].

Преобразованный таким образом сигнал (Кт. 2) поступает на прямые входы компараторов напряжения 4 и 5. Задатчик 2 формирует два фиксированных во времени опорных сигнала напряжений постоянного тока $U_{\min} \equiv n_{\min}$ и $U_{\max} \equiv n_{\max}$ которые, в свою очередь, поступают на инверсные входы компараторов напряжения 4 и 5. Компаратор 4 производит сравнение изменяющегося сигнала преобразователя $U = f(\varphi)$ с $U_{\min} \equiv n_{\min}$, а компаратор 5 $U = f(\varphi)$ с $U_{\max} \equiv n_{\max}$, генерируя при этом сигналы управления (Кт. 3, Кт. 4) для логического узла 6, который в зависимости от состояний выходных сигналов компараторов формирует временные интервалы для измерения времени разгона коленчатого вала ДВС в диапазоне частот вращения от $n_{\min}$ до $n_{\max}$ (Кт. 6) и времени замедления коленчатого вала в диапазоне частот вращения от $n_{\max}$ до $n_{\min}$ (Кт. 7), за время действия которых счетчики 7 и 9 производят подсчет импульсов стабильной частоты поступивших с кварцевого генератора и делителя частоты устройства для контроля скоростного режима, а узлы индикации 8 и 9 представляют результат измерения в цифровой

форме. Сброс показаний счетчиков производится улозом сброса 11 по команде оператора.

Функционирование устройства во втором режиме в основном идентично первому, с той разницей что, электронный коммутатор 3 пропускает на вход устройства, а счетчики 7 и 9 подсчитывают импульсы с формирователя устройства контроля скоростного режима, которые характеризуют количество циклов работы двигателя, а, следовательно, косвенно характеризуют и расход топлива в установленном диапазоне частот коленчатого вала ДВС (Кт. 8, 9).

Выводы. Динамический метод диагностирования АТС по мощности ДВС применим как для АТС с дизельными двигателями, так и для АТС с бензиновыми двигателями с впрыском топлива. На основании изложенного, разработка и практическое использование простого и доступного электронного устройства для оценки мощностных качеств ДВС, основанного на динамическом методе, является актуальной и экономически целесообразной.

Литература

1. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей. – Харьков: Вища школа, 1984.
2. ГОСТ 20760-75. Техническая диагностика. Общие положения о порядке разработки систем диагностирования. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 4 с.
3. Егоров А.В. Научно-технические основы улучшения эффективности характеристик ДВС и совершенствование методов их без тормозных испытаний. – Йошкар-Ола: Марийский ГТУ, 2008. – 168 с.
4. Стабилизация параметров топливной аппаратуры как фактор экономии эксплуатационных затрат / Д.А. Лаврентьев // Двигателестроение. – 1987. – № 3. – С. 24.
5. Шендригин А.С. Методы и технические средства испытаний двигателей внутреннего сгорания / А.С. Шендригин, Б.С. Науменко // Материалы X региональной научно-технической конференции «Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону». – СевКавГТУ, 2006. – 95 с.
6. Эффективность применения систем диагностирования и саморегулирования при эксплуатации автомобилей / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 1. – С. 51-56.
7. Янсен Й. Курс цифровой электроники: В 4-х т. Пер. с голланд. – М.: Мир, 1987.

References

1. Govorushchenko N.Ya. Technical operation of cars. – Kharkiv: Vishcha shkola, 1984.
2. GOST 20760-75. Technical diagnostics. General provisions on the procedure for developing diagnostic systems. – M.: Publishing House of Standards, 1975. – 4 p.

3. Egorov A.V. Scientific and technical bases for improving the efficiency of internal combustion engine characteristics and improving the methods of their non-brake tests. – Yoshkar-Ola: Mari State Technical University, 2008. – 168 p.

4. Stabilization of the parameters of fuel equipment as a factor of saving operational costs / D.A. Lavrentiev // Engine building. – 1987. – No. 3. – P. 24.

5. Shchendrigin A.S. Methods and technical means of testing internal combustion engines / A.S. Shchendrigin, B.S. Naumenko // Materials of the X regional scientific and technical conference "University Science – North Caucasus region". – SevKavSTU, 2006. – 95 p.

6. The effectiveness of the use of diagnostic systems and self-regulation in the operation of cars / V.V. Lyandenbursky, A.I. Tarasov, A.B. Fedoskov // World of transport and technological machines. – 2011. – No. 1. – P. 51-56.

7. Jansen J. Course of digital electronics: In 4 volumes Per. s. Holland. – M.: Mir, 1987.

Smetana S.A., Sidorchenko A.V.

A METHOD FOR EVALUATING THE POWER QUALITIES OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE OF A MOTOR VEHICLE

In this paper, we propose a method (electronic measuring device) for evaluating the power qualities of the internal combustion engine of a motor vehicle.

Key words: technical diagnostics, diagnostic process, dynamic method, acceleration time, run-out time, measurement, diagnostic parameter.

Сметана Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Smetana Sergey, Cand. tech. Sciences, Assoc. of the «Car transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Сидорченко Александр Владимирович, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Sidorchenko Alexander, senior lecturer of the «Car transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, д-р техн. наук, доц., заведующий кафедрой автомобильного транспорта, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 12.04.2021

УДК 629.113.004

СПОСОБ ОЦЕНКИ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВС

Сметана С.А., Сидорченко А.В., Замота Т.Н.

METHOD FOR ASSESSING THE FUEL EFFICIENCY OF AN AUTOMOBILE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Smetana S.A., Sidorchenko A.V., Zamota T.N.

Изложены результаты исследований по использованию объемного измерения расхода жидкого моторного топлива.

Ключевые слова: техническая диагностика, диагностирование, объемный расход, технические средства измерения.

Введение. Среди основных факторов, определяющих эффективность эксплуатации автомобилей, ведущее место принадлежит системе технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), ее научной обоснованности и совершенству, в настоящее время определяемая, как планово-предупредительная система (ППС) ТО и Р.

Большое значение в развитии системы ТО и Р имеет диагностирование автомобилей. В настоящее время широкое распространение получили системы диагностирования в виде стационарных приборных комплексов, переносных и встроенных систем диагностирования.

При оценке эффективности работы, выполняемой транспортным средством (ТС), в связи с постоянным ростом стоимости топлива для двигателя, все большее значение приобретают показатели топливной экономичности. Стоимость топлива может составлять более 30% всех затрат на эксплуатацию автомобиля, и эта часть затрат продолжает увеличиваться [1, 7].

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ публикаций [2, 3] показывает, что сущность проблемы заключается в том, что из-за высокой разнородности ресурсов агрегатов и механизмов автомобилей (для системы питания дизелей, например, коэффициент вариации ресурса составляет 0,26...0,78) их индивидуальные свойства при планово-предупредительной системе реализуются частично. В результате данного факта имеют место значительные потери трудовых и материальных ресурсов из-за несвоевременного контроля отказов, преждевременной профилактики и низкого уровня организации производства, а также недостаточной индивидуальной информации о

состоянии каждого автомобиля. Большое значение имеет проблема уменьшения трудовых затрат при выполнении диагностирования. Решение этой проблемы необходимо осуществлять в направлении повышения эффективности внешнего стационарного диагностирования путем улучшения его методов и средств в сочетании с внедрением автоматизированных систем управления производством ТО и Р [4, 6].

Следует отметить, что правильно проведенное диагностирование способствует снижению затрат на ТО и Р, позволяет существенно улучшить эффективные показатели автомобиля, такие, как мощность, расход топлива, токсичность отработавших газов.

Материалы и результаты исследования. В общем случае объемный расход топлива определяют как отношение объема топлива поступившего в цилиндры двигателя, ко времени, в течение которого топливо в них сгорает, т.е.

$$Q = \frac{\Delta V}{t}.$$

Предлагаемый способ основан на реализации уравнения состояния идеального газа

$$PV = mRT, \quad (1)$$

где P – абсолютное давление газа, Па;

V – объем газа, м³;

m – масса газа, кг;

R – газовая постоянная, Дж/кг К;

T – температура газа, К.

Пусть в какой-то момент времени объем наджидкостного пространства топливного бака составлял V_x (неизвестная величина), а атмосферное давление $P_{атм}$. Тогда, после герметизации бака, уравнение состояния будет иметь вид

$$(P_{атм} + \Delta P_1)(V_x + V_0) = (m_x + m_0) = RT_1, \quad (2)$$

где ΔP_1 – избыточное давление в топливном баке в начальный момент времени;

V_0 – объем газа находящийся в дозаторе;

m_x и m_0 – масса газа в баке и дозаторе соответственно.

После введения порции газа, при условии, что объем наджидкостного пространства неизменен, уравнение состояния запишется так

$$(P_{атм} + \Delta P_2)V_x = (m_x + m_0)RT_2, \quad (3)$$

где ΔP_2 – величина повышения давления в результате ввода порции газа.

После запуска двигателя транспортного средства, по мере его работы, количество топлива в баке будет уменьшаться и избыточное давление при этом будет падать. Когда наступит стабилизация режима работы двигателя, фиксируют давление и температуру паро-воздушной среды в момент начала отсчета контрольного временного интервала и по его истечении.

Уравнения состояния паро-воздушной среды в данных контрольных точках будут иметь вид:

$$(P_{атм} + \Delta P_2 - \Delta P_3)(V_x + \Delta V_1) = (m_x + m_0)RT_3; \quad (4)$$

$$\begin{aligned} (P_{атм} + \Delta P_2 - \Delta P_3 - \Delta P_4)(V_x + \Delta V_1 + \Delta V_2) = \\ = (m_x + m_0)RT_4. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь ΔV_1 и ΔV_2 – объем сжигаемого топлива за период вывода двигателя на установившийся режим и за период контрольного временного интервала соответственно.

Определим расход топлива двигателем по изменению значений параметров состояния паро-воздушной среды (давление и температура) в топливном баке. В уравнениях (2)-(5) примем

$$P_{атм} + \Delta P_1 = P_1;$$

$$P_{атм} + \Delta P_2 = P_2;$$

$$P_{атм} + \Delta P_2 - \Delta P_3 = P_3;$$

$$P_{атм} + \Delta P_2 - \Delta P_3 - \Delta P_4 = P_4.$$

Решая систему четырех уравнений

$$P_1(V_x + \Delta V_0) = (m_x + m_0)RT_1; \quad (2')$$

$$P_2V_x = (m_x + m_0)RT_2; \quad (3')$$

$$P_3(V_x + \Delta V_1) = (m_x + m_0)RT_3; \quad (4')$$

$$P_4(V_x + \Delta V_1 + \Delta V_2) = (m_x + m_0)RT_4, \quad (5')$$

найдем ΔV_2 .

Из последнего уравнения

$$\Delta V_2 = \frac{(m_x + m_0)RT_4}{P_4} - (V_x + \Delta V_1). \quad (6)$$

На основании равенства (4')

$$V_x + \Delta V_1 = \frac{(m_x + m_0)RT_3}{P_3}.$$

Тогда

$$\Delta V_2 = R(m_x + m_0) \frac{P_3T_4 - P_4T_3}{P_4P_3}.$$

Подставим значение $(m_x + m_0) = \frac{V_x P_2}{RT_2}$ из

уравнения (3') в уравнение (2'), получим

$$P_1(V_x + V_0) = V_x \frac{P_2T_1R}{T_2R}.$$

Решая его относительно V_x , будем иметь

$$V_x = V_0 \frac{P_1T_2}{P_2T_1 - P_1T_2}. \quad (7)$$

С учетом этого

$$m_x + m_0 = \frac{P_1P_2}{R(P_2T_1 - P_1T_2)}V_0.$$

последнее выражение в формулу (6), после преобразования получим

$$\Delta V_2 = \frac{P_1P_2(P_3T_4 - P_4T_3)}{P_3P_4(P_2T_1 - P_1T_2)}V_0. \quad (8)$$

В результате получена формула (8) для определения объема израсходованного топлива за период контрольного временного интервала.

Устройство измерения времени расхода топлива (далее устройство) является практической реализацией способа измерения. Устройство выполняет следующие функции: изменение давления в надтопливном пространстве топливного бака транспортного средства путем введения в него определенной дозы (объема) воздуха; измерения времени восстановления давления в надтопливном пространстве до исходного; автоматизацию процесса измерения во время рабочего цикла [5].

Рассмотрение принципа работы устройства удобно начать с его общей структурной схемы (рис. 1).

При помощи гибкого шланга устройство подсоединяется к штуцеру пробки герметизирующей надтопливное пространство топливного бака транспортного средства, образуя с ним общую пневматическую систему. При подаче питания на элементы устройства логический узел 13 формирует сигнал обнуления счетчика импульсов 17 и сигнал управления для узла выходной обработки и управления исполнительными механизмами 14, которая в свою очередь открывает нормально закрытый пневматический клапан 7, после чего надтопливное пространство топливного бака сообщается с атмосферой.

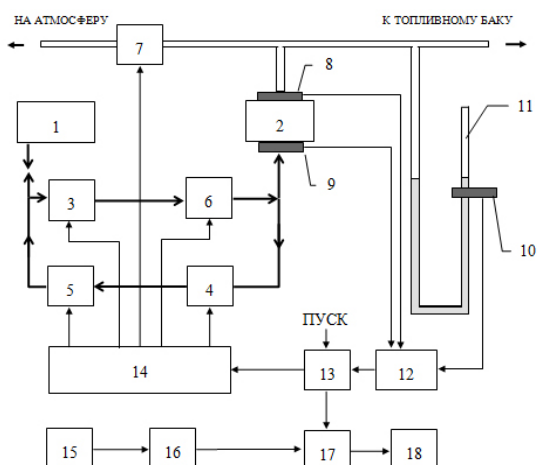


Рис. 1. Структурная схема устройства измерения времени расхода:

- 1 – бакоч расширительный; 2 – бакоч мерный; 3 – насос нагнетательный; 4 – насос откачивающий; 5, 6 – клапан гидравлический электромагнитный; 7 – клапан пневматический электромагнитный; 8, 9, 10 – датчик оптоэлектронный; 11 – манометр U-образный; 12 – узел входной обработки сигналов оптоэлектронных датчиков; 13 – логический узел; 14 – узел выходной обработки; 15 – генератор тактовый; 16 – делитель частоты; 17 – счетчик импульсов; 18 – узел цифровой индикации; 19 – соединительный шланг

Оптоэлектронный датчик 10, расположенный на правой ветви U-образного манометра 11, установлен ниже уровня жидкого рабочего агента на 2...3 мм (в процессе эксплуатации устройства эта установка не изменяется).

При нажатии кнопки «ПУСК» пневматический клапан 7 переходит в закрытое состояние, отсоединяя систему от атмосферы. По мере выработки топлива из бака в надтопливном пространстве нарастает разрежение, что приводит к падению уровня жидкого рабочего агента в правой ветви U-образного манометра 11. В момент прохода границы раздела «жидкость-воздух» через оптическую ось датчика 10 узел входной обработки 12 формирует цифровой сигнал для узла 13, который, во первых – разрешает прохождение цифровой последовательности с тактового генератора 15 через делитель частоты 16 на счетчик импульсов 17, тем самым реализуя функцию измерения времени, а во вторых – управляет узлом выходной обработки 14, которая включает нагнетательный насос 3 и переводит гидравлический клапан 6 в открытое состояние, при этом происходит процесс перекачки рабочего агента из расширительного бачка 1 в мерный бачок 2 до тех пор, пока уровень рабочего агента в нем не пересечет оптическую ось оптоэлектронного датчика 8. В этот момент узлы 12, 13 и 14 выключают насос 3 и перекрывают клапан 6.

Так как наджидкостный объем мерного бачка соединен с надтопливным пространством топливного бака в общую систему, то в процессе

перекачки, в нем произойдет увеличение давления, что приведет к увеличению уровня рабочего агента в правой ветви U-образного манометра 11.

В процессе выработки топлива из топливного бака, в его надтопливном пространстве происходит падение избыточного давления и, как следствие, уменьшение уровня рабочего агента в правой ветви U-образного манометра. Отсчет времени продолжается до тех пор, пока уровень рабочего агента в нем не пересечет оптическую ось оптоэлектронного датчика 9, при этом узлы 12, 13 и 14 запрещают отсчет времени счетчику 17 и результат измерения в цифровой форме высвечивается на узле индикации 18. Одновременно с этим открывается электромагнитный гидравлический клапан 5 и включается откачивающий насос 4, что приводит к перекачке рабочего агента из мерного бачка 2 в расширительный бакоч 1. Процесс перекачки происходит до тех пор, пока уровень рабочего агента не пересечет оптическую ось оптоэлектронного датчика 9, при этом узлы 12, 13 и 14 выключают откачивающий насос 4 и перекрывают электромагнитный клапан 5. Таким образом, происходит автоматический возврат дозирующей системы в исходное состояние.

Для запуска последующего цикла измерения необходимо повторно нажать кнопку «ПУСК».

Как уже говорилось выше, устройство в процессе работы выполняет несколько различных функций, которые реализуются в последовательно чередующихся фазах рабочего цикла. Особенностью каждой из фаз является ее конкретное функциональное назначение, которое может быть определено наличием характерных сигналов в контрольных точках на входах и выходах электронных узлов устройства (рис. 2).

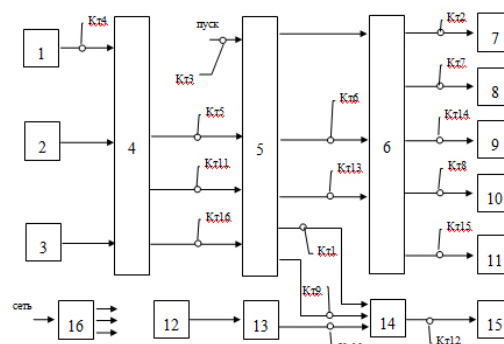


Рис. 2. Структурная схема электронной части устройства:

- 1, 2, 3 – датчик оптоэлектронный; 4 – узел входной обработки сигналов оптоэлектронных датчиков; 5 – логический узел; 6 – узел выходной обработки; 7 – клапан пневматический электромагнитный; 8, 9 – клапан гидравлический электромагнитный; 10 – насос нагнетательный; 11 – насос откачивающий; 12 – генератор тактовый; 13 – делитель частоты; 14 – счетчик импульсов; 15 – узел цифровой индикации; 16 – узел питания

Первая фаза – подготовительная (рис. 3), при подключении устройства к сети узел питания 16 формирует стабилизированные напряжения постоянного тока для питания всех узлов устройства. Логический узел 5 формирует сигнал сброса счетчика импульсов 14 (Кт. 1), для установки его внутренних элементов в исходное состояние, и, совместно с узлом выходной обработки 6, сигнал открытия электромагнитного пневматического клапана 7 (Кт. 2), с целью уравнивания давления в надтопливном пространстве топливного бака с атмосферным. Клапан 7 переходит в закрытое состояние при нажатии кнопки «ПУСК» (Кт. 3), отсоединяя при этом систему от атмосферы.

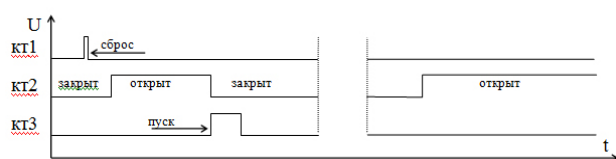


Рис. 3. Эпюры напряжений в контрольных точках устройства в подготовительной фазе

Вторая фаза – рабочая (рис. 4), начинается в момент срабатывания оптоэлектронного датчика 1 установленного на правой ветви жидкостного манометра при изменении в нем уровня рабочего агента (Кт. 4), вызванного увеличением разряжения в системе по мере выработки топлива. Узел входной обработки 4 преобразует сигнал датчика к цифровому виду (Кт. 5), который в свою очередь поступая на вход логического узла 5 вызывает изменение уровня его выходного сигнала (Кт. 6), при этом узел выходной обработки 6 формирует сигнал на включение электромагнитного гидравлического клапана 8 и нагнетательного насоса 10 (Кт. 7, Кт. 8).

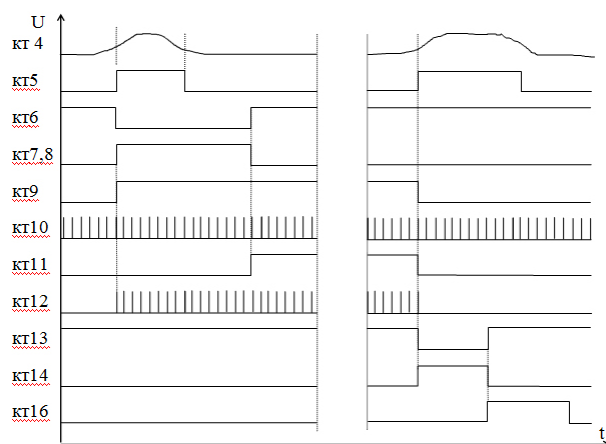


Рис. 4. Эпюры напряжений в контрольных точках устройства в рабочей фазе

Происходит накачка рабочего агента в мерный бакоч дозатора, нарастание избыточного давления в

системе и соответственно увеличение уровня рабочего агента в жидкостном манометре, что приводит к изменению выходного сигнала оптоэлектронного датчика 1 (Кт. 4, Кт. 5). Одновременно узел 5 формирует фронт сигнала (Кт. 9) разрешающего счетчику 14 подсчет импульсов поступивших с генератора 12 через делитель частоты 13 на его счетный вход (Кт. 10).

В момент заполнения мерного бачка срабатывает оптоэлектронный датчик 2, установленный в верхней его части (Кт. 11) и логический узел 5 формирует управляющий сигнал узлу 6 на выключение электромагнитного гидравлического клапана 8 и нагнетательного насоса 10 (Кт. 7, Кт. 8). Повторное срабатывание оптоэлектронного датчика 1, при изменении уровня рабочего агента в жидкостном манометре (Кт. 4, Кт. 5), вызванное уменьшением избыточного давления в системе до исходного, ориентирует логический узел 5 на формирование спада сигнала разрешения счета, завершая тем самым временной интервал в течение которого счетчик 14 осуществлял подсчет импульсов (Кт. 9, Кт. 12).

Одновременно узел 5 формирует управляющий сигнал узлу 6 (Кт. 13) на включение электромагнитного гидравлического клапана 9, откачивающего насоса 11 (Кт. 14, Кт. 15) и открытия электромагнитного пневматического клапана 7 (Кт. 2, рис. 3). При этом происходит соединение системы с атмосферой и перекачка рабочего агента в обратном направлении, из мерного бачка в расширительный. В момент срабатывания оптоэлектронного датчика 3 установленного в нижней части мерного бачка (Кт. 16) узел 5 формирует управляющий сигнал узлу 6 на выключение электромагнитного гидравлического клапана 9 и откачивающего насоса 11 (Кт. 14, Кт. 15).

Оптоэлектронные датчики имеют идентичную конструкцию и представляют собой оптопару с открытым каналом состоящую из излучателя – инфракрасного светодиода и приемника излучения – инфракрасного фотодиода, установленных соосно в общем корпусе (рис. 5) и включенных в электронную схему. При пересечении оптической оси датчика границей раздела сред «воздух – рабочий агент», происходит оптическое преломление светового потока излучателя, что влечет за собой изменение его интенсивности в месте установки фотодиода – приемника. Электронная схема реагирует на это изменением амплитуды выходного напряжения (рис. 4, Кт. 4).

Узел входной обработки 4 предназначен для преобразования медленно изменяющегося постоянного выходного напряжения оптоэлектронного датчика в сигнал цифрового вида. В узел входят три электронные схемы (соответственно числу датчиков) формирователей на основе триггера Шмита.

Логический узел 5 представляет собой электронную схему с жесткой логикой работы, которая изменяет комбинацию сигналов на своих выходах в соответствии с изменением входных логических сигналов.

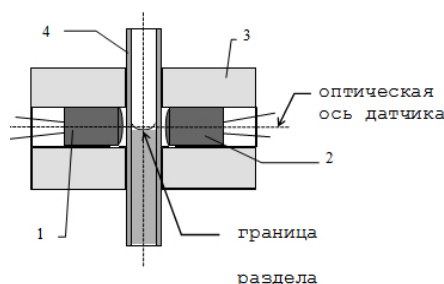


Рис. 5. Конструкция оптоэлектронного датчика:
1 – инфракрасный светодиод; 2 – инфракрасный фотодиод; 3 – корпус; 4 – прозрачная трубка

Узел выходной обработки 6 предназначен для преобразования слабых сигналов управления сформированных логическим узлом в сигналы управления силовыми исполнительными механизмами: электромагнитными клапанами – 7, 8, 9 и электрическими двигателями насосов – 10, 11. Так как исполнительные механизмы являются источниками электрических помех, передающихся по цепям питания, то они гальванически развязаны от предыдущих электронных узлов при помощи транзисторных оптронов, подобное решение позволяет повысить их помехозащищенность.

Счетный узел объединяет в себя генератор импульсов 12 представляющий собой электронную схему кварцевого релаксационного генератора с частотой колебаний 100 КГц, делитель частоты 13, состоящий из четырех последовательно включенных двоично-десятичных счетчиков с общим коэффициентом деления $K = 1000$, трехдекадный синхронизируемый двоичный счетчик 14 и трехразрядную схему цифровой индикации 15. Счетный узел позволяет измерять максимальное время расхода $T_p = 99,9$ с. с точностью ± 1 младшего разряда.

Выводы. По известному времени расхода можно вычислить значение мгновенного расхода топлива по формуле:

$$Q_x = \frac{V3600}{T_p},$$

где Q_x – расход, л/ч; V – известный объем мерного бака, л; T_p – время расхода, с.

Л и т е р а т у р а

1. Ананьин А.Д. Диагностика и техническое обслуживание машин / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов и др. – Москва: Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.
2. Габитов И.И. Улучшение эксплуатационных показателей топливной аппаратуры сельскохозяйственных дизелей путем научного обоснования и реализации в

ремонтном производстве технологических процессов, методов и средств диагностирования [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / И.И. Габитов; [С.-Петербург. гос. аграр. ун-т]. – СПб.: 2001. – 319 с.

3. Габитов И.И. Информационно-измерительный комплекс для исследований топливopодopуживающих систем автотракторных дизелей. Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей [Текст] / И.И. Габитов, А.В. Неговора, М.Д. Гафуров // Сб. научн. тр. пост. действ. семинара стран СНГ. – СПб.: СПбГАУ, 2000. – 118 с.

4. Кудрин А.И. К вопросу о диагностировании топливной аппаратуры дизелей [Текст] / А.И. Кудрин. – Челябинск: ЧПИ, 1974. – 106 с.

5. Коваленко П.Г. Сметана С.А. Авторское свидетельство СССР №1578484, кл. G01F9/00. 1988.

6. Смирнов В.Н. Способы анализа стабильности показателей изделий и погрешности средств их контроля [Текст] / В.Н. Смирнов, А.М. Доценко, Г.Н. Фомичев // Информационный центр научно-технической информации и пропаганды, 1979. – 208 с.

7. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта автомобилей на основе инновационных методов диагностирования: моногр. / В.В. Лянденбурский. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 200 с.

References

1. Ananin A.D. Diagnostics and maintenance of machines / A.D. Ananin, V.M. Mikhlin, I.I. Gabitov, et al. – Moscow: Publishing Center "Academy", 2008. – 432 p.
2. Gabitov I.I. Improvement of operational indicators of fuel equipment of agricultural diesels by scientific justification and implementation in repair production of technological processes, methods and means of diagnostics [Text]: dis. ... Doctor of technical sciences: 05.20.03 / I.I. Gabitov; [P.- St. Petersburg State Agrarian University. un-t]. – St. Petersburg: 2001. – 319 p.
3. Gabitov I.I. Information and measurement complex for research of fuel supply systems of automotive diesel engines. Improving the operational performance of engines, tractors and automobiles [Text] / I.I. Gabitov, A.V. Negovora, M.D. Gafurov // Sb. nauchn. tr. post. def., seminars of the CIS countries. – St. Petersburg: SPbGAU, 2000. – 118 p.
4. Kudrin A.I. On the issue of diagnostics of fuel equipment of diesel engines [Text] / A.I. Kudrin. – Chelyabinsk: CHPI, 1974. – 106 p.
5. Kovalenko P.G. Smetana S.A. Copyright certificate of the USSR No. 1578484, CL. G01F9/00. 1988.
6. Smirnov V.N. Methods of analysis of the stability indices of goods and errors of the means for their control [Text] / V.N. Smirnov, A.M. Docenko, G.N. Fomichev // Information center of scientific and technical information and propaganda, 1979. – 208 p.
7. Improving the system of car maintenance and repair on the basis of innovative diagnostic methods: monogr. / V.V. Lyandenbursky. – Penza: PGUAS, 2015. – 200 p.

Smetana S.A., Sidorchenko A.V., Zamota T.N. METHOD FOR ASSESSING THE FUEL EFFICIENCY OF AN AUTOMOBILE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

The results of the analysis of the degree of influence of the spark ignition system on the stability of on-Board electronic equipment and a person are presented.

Key words: *ignition system, working process, electromagnetic radiation, electromagnetic compatibility, diagnostics process.*

Сметана Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Smetana Sergey, Cand. tech. Sciences, Assoc. of the «Car transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Сидорченко Александр Владимирович, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Sidorchenko Alexander, senior lecturer of the «Car transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Замота Тарас Николаевич, д.т.н., проф., зав. кафедры «Автомобильный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: Zamota71@gmail.com

Zamota Taras, Ph.D., head of «Automobile transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, д-р. техн. наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 12.04.2021

УДК 336.71.001.76.003.13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАНКОВ

Стефанишина Е.В., Рахманая И.А.

DETERMINING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF INNOVATIVE ACTIVITIES OF BANKS

Stefanishina E.V., Rakhmanaya I.A.

В статье рассмотрены особенности инновационной деятельности банковских организаций, рассмотрен ряд причин, обуславливающих появление необходимости в создании и использовании системы показателей уровня эффективности банковской деятельности. Исследована роль управления инновационной деятельностью в системе стратегического управления развитием банка. Сформулировано обобщенное понятие термина «инновация».

Ключевые слова: банк, инновация, инновационная деятельность, эффективность, показатели эффективности, управление.

Постановка проблемы, анализ последних исследований и публикаций. В эпоху «экономики знаний» реализация инноваций является важным фактором достижения конкурентных преимуществ, которая стимулирует банки повышать эффективность и постоянно предлагать новые продукты. Только благодаря постоянным внедрением инноваций банки смогут улучшить свою рыночную позицию, повысить результативность деятельности, сократить расходы, сохранить и привлечь новых клиентов.

Основная проблема любых банковских инноваций – это обеспечение их эффективности, зависящее в значительной степени от интеллектуального капитала банка, который в эпоху экономики знаний превратился в основной фактор инновационного развития.

Теоретические основы экономической эффективности инновационной деятельности банков основаны на системном подходе и предусматривают рассмотрение его в контексте теории эффективности с учетом особенностей инновационного процесса в банках.

Заметим, что вопрос экономической эффективности инноваций исследовали отечественные и зарубежные ученые [7, с. 137], в частности, И.Т. Балабанов, Ю.В. Вертакова [2, с. 183], С. Шмигельский, О.И. Лаврушин, И. Лукасевич, Дж. Синки [6].

Основная часть. Термин «эффективность» рассматривается как способность достигать поставленные цели.

Впрочем до сих пор не существует однозначной трактовки определения «экономический эффект» и «экономическая эффективность», часто эффект отождествляют с понятием «эффективность». В частности, Ю.В. Вертакова [2, с. 183] рассматривает эффективность как вектор, указывающий направление изменений (положительный, отрицательный), а эффект – как величину этих изменений.

С. Шмигельский ее трактует как степень соответствия достигнутых результатов поставленной цели [8, с. 139]. Efficiency означает оптимальное соотношение затраченных ресурсов и полученных результатов. Заметим, что результативно-затратный подход является наиболее распространенным при определении экономической эффективности, сущность которого заключается в оценке результативности использования всех ресурсов, включая информационные. Понятие effectuality сочетает в себе effectiveness и efficiency.

Примером такого сочетания является предложенная И. Лукасевичем оценка эффективности функционирования любой экономической системы по двум основным направлениям [8, с. 142]:

- как быстро система достигает поставленной цели;
- эффективность, с которой система превращает расходы в доходы.

При оценке эффективности отдельных инновационных проектов целесообразно использовать подход effectuality, основанный на сочетании effectiveness и efficiency.

Достаточно распространенным является использование понятия «performance», что означает общее состояние организации, включая как финансовые, так и нефинансовые параметры, характеризует достигнутый уровень развития и

перспективы. При таком подходе эффективность трактуется как общее финансовое состояние банка [3]. Считается, что именно такого подхода следует придерживаться, рассматривая эффективность инновационной деятельности банков в контексте улучшения в целом финансового состояния банка, повышения конкурентоспособности и устойчивого развития.

Комплексная оценка экономической эффективности базируется на синтезе различных подходов с учетом того, что эффективность – это качественная характеристика результативности деятельности и использования ресурсов, достижения поставленных целей при существующих ограничениях, индикатор общего состояния и развития банка. Учитывая указанное, экономическая эффективность инновационной деятельности банков рассматривается как составляющая экономической эффективности банков, которую все труднее обеспечить в условиях высокой конкуренции и усиления процессов глобализации, от банков требуется поддержание финансовой устойчивости и конкурентоспособности не только на внутреннем рынке, но и на международных финансовых рынках.

Часто ученые трактуют экономическую эффективность деятельности банка как совокупный положительный результат во всех сферах деятельности банка [3, с. 122], и базируется такая оценка на эффективности отдельных составляющих активно-пассивных операций и видов предоставляемых услуг, в частности, таких как эффективность кредитного портфеля, депозитной политики, риск-менеджмента, управления ликвидностью и капиталом, инновационной деятельности банков и управления банком в целом.

В менеджменте понятие экономической эффективности чаще всего связывают с концепцией будущих денежных потоков и их дисконтированием к нынешней стоимости.

Дж. Синки [6], подходя комплексно к понятию эффективности, выделяет три вида эффективности банковской деятельности – эффективность размещения ресурсов, эффективность затрат (операционная) и ценовая (информационная) эффективность, отмечая, что финансовая система эффективна с точки зрения затрат (операционная эффективность), если позволяет минимизировать стоимость транзакций или стоимость проведения финансовых операций. Экономическая эффективность инновационной деятельности банков наиболее связана с эффективностью затрат (операционной эффективностью) и ценовой (информативной), поскольку зависит от ситуации на рынке.

Экономическая эффективность инновационной деятельности банков рассматривается в контексте вышеприведенного определения сущности экономической эффективности банковской деятельности, поскольку инновационные процессы

являются важной составляющей деятельности и развития банков и зависят от эффективности отдельных инноваций.

Термин «инновация» («нововведение») трактуется современной экономической наукой как «конечный результат инновационной деятельности, реализованный в виде нового или улучшенного продукта, или технологического процесса, представленного на рынке, используемого в практической деятельности, или же в новом подходе к социальным услугам» [9].

Относительно особенностей банковского сектора предлагаем сформулировать обобщенное понятие «инновация», которое будет охватывать весь спектр значений данного понятия:

- банковские продукты, обладающие более привлекательными потребительскими характеристиками, чем предлагаемые ранее, способны удовлетворить неохваченные прежде потребности потенциальных покупателей;

- развитие новых рынков предоставления услуг за счет расширения как географии деятельности банка, так и за счет наращивания потребительской линейки продуктов;

- технологии деятельности («инновационные банковские технологии»), которые повышают продуктивность банковской деятельности и расширяют спектр данной деятельности, включая разработку и совершенствование инструментов управления банковскими услугами;

- комплекс инновационных инвестиционных услуг и инновационных систем управления кредитной организацией, мониторинга кредитного риска и качества обслуживания;

- создание новых организационных структур, которые обеспечат рост и экономическую эффективность деятельности банков по отношению к финансовым результатам, исходя из объема потребительского рынка, за счет рационального расширения деятельности банковских структур.

Вышеизложенные составляющие термина «инновации в банковской сфере» можно охарактеризовать с точки зрения применимости ко всем нововведениям в процессе функционирования банка, которые имеют положительный экономический или стратегический управленческий эффекты. Эти эффекты можно разделить на следующие категории:

- укрепление конкурентоспособных позиций банка на рынке финансовых услуг, увеличение доли рынка, рост объема продаж, прирост клиентской базы и повышение лояльности клиентов, сокращение издержек на проведение какого-либо вида операций, повышение инвестиционной привлекательности банковской организации и т.д. Следует отметить такие свойства, присущие банковским инновациям (и инновациям в целом), как новизна, прогрессивность, коммерческая реализуемость, сокращение временных затрат, удовлетворение

актуальных рыночных нужд и доступность широкому кругу потребления.

Эффективность инноваций оценивается по трем составляющим: конкурентоспособность, снижение затрат и способность компании к внедрению новых инноваций, то есть наличие инновационного потенциала. Ю. Вертакова, Д. Гафурова определяют эффективность инноваций их способностью сохранять соответствующее количество труда, времени, ресурсов и денег в расчете на единицу всех необходимых и запланированных полезных эффектов от создаваемых продуктов, технических систем, структур. Экономическая эффективность инновации означает, что результат, полученный благодаря вложениям ресурсов (денежных, материальных, информационных, рабочей силы) в новый продукт или операцию (технология), обладает определенным полезным эффектом (выгодой). Этот результат приводит к сохранению трудовых, материальных или природных ресурсов или позволяет увеличить производство средств производства, предметов потребления и услуг [2, с. 237-238].

Впрочем эффективность инновационной деятельности банков – это не только способность сэкономить определенное количество труда, времени, ресурсов и денежных средств, в т.ч. и на хеджировании инновационных рисков, но и получение дополнительного дохода за счет увеличения количества клиентов, привлеченных финансовых ресурсов в расчете не только на единицу затрат (эффектов), но и на единицу активов, что позволяет более объективно оценить эффективность инновационной деятельности, сравнить ее с другими банками в динамике.

Заметим, что именно инновационное лидерство позволяет банкам получать преимущества, которые положительно влияют на эффективность деятельности. В сфере предоставления банковских услуг результаты могут быть выражены в повышении качества услуг, повышении гибкости предоставления услуг, снижении стоимости единицы труда, снижении операционных расходов и экономии текущих расходов благодаря внедрению новых технологий [5, с. 167], повышению информационно-технологического потенциала, совершенствованию коммуникаций и взаимодействию между различными видами инновационной деятельности, что приводит к повышению производительности.

Сейчас необходимым условием эффективной инновационной деятельности является пользование новыми услугами. Для чего чрезвычайно важно поддерживать имидж надежного, финансово-устойчивого банка, пользоваться высоким доверием клиентов, обеспечить сбалансированность (согласованность) интересов акционеров, сотрудников и клиентов.

Таким образом, эффективность инноваций всегда должна быть направлена на получение лидирующих позиций. Для этого могут использоваться самые различные стратегии, как ориентированные на лидерство на рынке, в определенной области, так и на поиск относительно небольшой «экологической ниши» в определенном процессе или на рынке, которые обеспечат достижение экономической эффективности, связанной не только с получением экономического эффекта, повышением отдачи на единицу вложенных ресурсов, укреплением рыночной позиции, ростом рентабельности деятельности, но и с улучшением в целом деятельности банка и обеспечением устойчивого развития на инновационных принципах.

Ученые, отмечая сложность определения экономической эффективности инновационной деятельности и невозможность использования единого подхода к определению эффективности инноваций различных видов, обращают внимание на относительное многообразие эффектов, на которые может рассчитывать организация-инноватор, и недостаточную разработанность проблемы стоимостной оценки эффектов организационно-управленческих и социальных инноваций. При таких условиях перспективными направлениями решения данной проблемы считается расчет экономии трансакционных расходов, а также использование методологии оценки и управления стоимости банка, в частности, его интеллектуальным капиталом [8].

В теории выделяют «нормативный», «абсолютный», «сравнительный» и другие эффекты, которые исчисляются в натуральных и дисконтированных денежных потоках [1].

Также при реализации инноваций отдельные авторы выделяют экономический, научно-технический, финансовый, ресурсный, социальный, экологический эффекты [4].

Выделяя различные эффекты, принято считать, что экономический эффект может быть потенциальным и фактическим, тогда как научно-технический, социальный, экологический эффекты могут быть только потенциальными.

Обобщая существующие подходы к эффектам от инноваций, предлагаем выделять экономический, социальный и стратегический эффекты, получение которых выступает необходимым условием обеспечения эффективности инновационной деятельности банков. При этом экономический эффект нами рассматривается как абсолютная величина превышения стоимостной оценки ожидаемых (фактических) доходов над суммарными затратами ресурсов за расчетный период. Социальный эффект проявляется в повышении полезности и доступности банковских услуг, снижении их стоимости для клиента, удобстве получения услуг. Стратегический эффект оценивается успешностью реализации

инновационных стратегий, конкурентными преимуществами, лидерством на рынке, достижением поставленных стратегических целей.

Существует ряд причин, обуславливающих появление необходимости в создании и использовании системы показателей уровня эффективности банковской деятельности, благодаря которым производится эффективный инновационный процесс, заключающийся в следующем [7]:

- необходимость расчёта затрат и количественной оценки результатов инновационного проекта, после чего можно принимать целенаправленные управленческие решения;

- необходимость интеграции инновационного процесса с бизнес-процессом с учетом стратегических организационных целей;

- оценка с количественной точки зрения доли работников с инновационным мышлением.

Предполагается, что процесс созданной системы показателей эффективности проводимой инновационной деятельности будет соответствовать следующим требованиям [8, с. 152]:

- система должна иметь количественные и качественные показатели, которые при этом не будут связаны между собой;

- предусматривается сопряжение системы показателей уровня эффективности инноваций и системы корпоративных показателей уровня эффективности банковской деятельности;

- должна производиться оценка удовлетворённости клиентов количеством и качеством предоставляемых услуг и продуктов посредством системы;

- система должна включать только актуальные для той или иной инновации показатели;

- посредством системы показателей должны раскрываться причины успеха такой деятельности и её неудачи.

Для банков очень актуальна проблема поиска источников финансирования инновационной деятельности. Источниками финансовой поддержки инновационной деятельности банков могут быть собственные средства банка, средства (инвестиции), привлеченные от физических и юридических лиц, другие источники, не запрещенные законодательством.

Перспективным направлением финансирования инновационной деятельности является использование банком-инноватором прибыли от внедрения инноваций для реинвестирования в инновационную деятельность.

Обеспечение эффективности инновационной деятельности банков невозможно при отсутствии унифицированных методических подходов и принципов объективной оценки экономической эффективности инновационной деятельности банков. В теории эффективности принято оценивать инновации на основе таких принципов, как учет

фактора времени, полученного полезного результата, использование единого критерия для оценки альтернативных вариантов, приведение к единому летнему измерению текущих (эксплуатационных) и одноразовых (капитальных) затрат, обеспечение сопоставимости альтернативных вариантов. Л. Малюта выделяет такие принципы оценивания инновационного развития: системного анализа, информационной полноты и достоверности данных, комплексного подхода к оценке, логического завершения проведенной оценки [4].

Выводы. Таким образом, исследование существующих подходов к определению эффективности инновационной деятельности позволяет сделать вывод, что в большинстве своем ученые предусматривают оценку отдельного конкретного вида инновации, инновационного проекта, а не в целом результативности инновационной деятельности банков. Проведенный теоретический анализ и рассмотрение инновационной деятельности как экосистемы дает основания утверждать, что экономическая эффективность инновационной деятельности банков – это качественная и количественная многоуровневая системная характеристика результативности инновационной деятельности и способности банка к внедрению инноваций, предусматривающая получение экономического, социального, стратегического эффектов и способствующая повышению рентабельности, конкурентоспособности и устойчивому развитию банка на инновационных принципах.

Л и т е р а т у р а

1. Ванюгина С.В. Формы и методы финансирования инновационной деятельности корпораций // Вестник финансово-экономического института. – 2018. – № 2. – С. 33.
2. Вертакова Ю. В. Управление инновациями: теория и практика / Ю. В. Вертакова, Е. С. Симоненко. – М.: Эксмо, 2008. – 432 с.
3. Горчаков Н. Н. Эффективность деятельности многофилиального коммерческого банка: дис. ... к. экон. н.: – Саратов, 2010. – 188 с.
4. Малюта Л. Оценка уровня инновационного развития промышленного предприятия [Электронный ресурс] / Л. Малюта // Социально-экономические проблемы и государство. – 2011. – Вып. 1 (4).
5. Путковская С. А. Выбор механизма повышения эффективности банковских услуг / С. А. Путковская // Проблемы современной экономики. – 2009. – № 3 (31).
6. Синки Дж. Финансовый менеджмент в коммерческом банке и в индустрии финансовых услуг / Дж. Синки. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 1018 с.
7. Шубин К.А. Управление банковскими инновациями на рынке дистанционного обслуживания на основе оценки экономической эффективности: автореферат дис. ... к. экон. н. – Пермь, 2007.
8. Яшин С.Н., Туккель Е. В. и др. Оценка эффективности инновационной деятельности: учебник / С. Н. Яшин, И. Л. Туккель, Е. В. Кошелев, С. А. Макаров, Ю. С. Коробова. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2018. – 409 с.

9. Словарь современных экономических терминов /Под. ред. Б.А. Райзберга. – М.: Айрис-пресс, 2006.

References

1. Vanyugina S. V. Formy i metody finansirovaniya innovacionnoj deyatel'nosti korporacij // Vestnik finansovo-ekonomicheskogo instituta. – 2018. – № 2. – S. 33.

2. Vertakova YU. V. Upravlenie innovatsiyami: teoriya i praktika / YU. V. Vertakova, E. S. Simonenko. – М.: Eksmo, 2008. – 432 s.

3. Gorchakov N. N. Effektivnost' deyatel'nosti mnogofilial'nogo kommercheskogo banka: dis. ... k. ekon. n.: – Saratov, 2010. – 188 s.

4. Malyuta L. Ocenka urovnya innovatsionnogo razvitiya promyshlennogo predpriyatiya [Elektronnyj resurs] / L. Malyuta // Social'no-ekonomicheskie problemy i gosudarstvo. – 2011. – Vyp. 1 (4).

5. Putkovskaya S. A. Vybory mekhanizma povysheniya effektivnosti bankovskikh uslug / S. A. Putkovskaya // Problemy sovremennoj ekonomiki. – 2009. – № 3 (31).

6. Sinki Dzh. Finansovyy menedzhment v kommercheskom banke i v industrii finansovykh uslug / Dzh. Sinki. – М.: Al'pina Biznes Buks, 2007. – 1018 s.

7. SHubin K. A. Upravlenie bankovskimi innovatsiyami na rynke distantsionnogo obsluzhivaniya na osnove ocenki ekonomicheskoy effektivnosti: avtoreferat dis. ... k. ekon. n. – Perm', 2007.

8. YAshin S. N., Tukkel' E. V. i dr. Ocenka effektivnosti innovacionnoj deyatel'nosti: uchebnyk / S. N. YAshin, I. L. Tukkel', E. V. Koshelev, S. A. Makarov, YU. S. Korobova. – Nizhniy Novgorod: Izd-vo Nizhegorodskogo gosuniversiteta, 2018. – 409 s.

9. Slovar' sovremennykh ekonomicheskikh terminov /Pod. red. B.A. Rajzberga. – М.: Ajris-press, 2006.

Stefanishina E.V., Rakhmanaya I.A.

DETERMINING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF INNOVATIVE ACTIVITIES OF BANKS

The article examines the features of the innovative activity of banking organizations, considers a number of reasons for the emergence of the need to create and use a system of indicators of the level of efficiency of banking activities. The role of innovation management in the system of strategic management of the bank's development has been investigated. A generalized concept of the term «innovation» has been formulated.

Key words: bank, innovation, innovation activity, efficiency, performance indicators, management.

Стефанишина Елизавета Витальевна, магистрант кафедры финансов и кредита ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: eliza.veta.1995@mail.ru

Stefanishina Elizaveta Vitalevna, graduate student of the Department of Finance and Credit, State Educational Establishment of Higher Education of Lugansk People's Republic «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рахманая Ирина Анатольевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры финансов и кредита ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: rahmanna@mail.ru

Rakhmanaya Irina Anatolyevna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Finance and Credit, State Educational Establishment of Higher Education of Lugansk People's Republic «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Максимова Татьяна Семеновна, доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой «Маркетинг» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 04.06.2021

УДК 625.7/8

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ МНОГОУРОВНЕВЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Тарарычкин И.А.

STRUCTURAL SYNTHESIS OF THE MULTILEVEL TERRITORIAL TRANSPORT SYSTEMS

Tararychkin I.A.

Разработаны методы и алгоритмы структурного синтеза многоуровневых территориальных транспортных систем. Возможности методов рассмотрены на примере формирования системы, в состав которой включены девять производственных кластеров. Рассматриваемая система обеспечивает взаимодействие различных видов транспорта. Кроме того, функционирующая транспортная система допускает возможность продвижения транзитных грузопотоков. Сформированы подсистемы автомобильного и железнодорожного транспорта с учетом требований к целостности всей транспортной системы.

Ключевые слова: транспортная система, оптимизация, структура, синтез, грузопотоки, транзит.

Введение. Структурный синтез территориальной системы представляет собой метод поиска структуры и набора значений рабочих параметров, для которых её состояние оценивается как оптимальное по выбранному критерию или совокупности критериев и ограничений [1].

Известные методы формирования логистических транспортных систем в ряде случаев не позволяют решать задачу синтеза оптимальной структуры, что связано как с противоречивостью условий и ограничений, которые должны быть при этом соблюдены, так и со сложностью вычислительных алгоритмов, обусловленной наличием большого числа эксплуатационных факторов. Кроме того, формируемые территориальные транспортные системы оказываются, как правило, многоуровневыми, а структурная оптимизация таких объектов затруднена в связи с отсутствием соответствующих методов [2-4].

Таким образом, структурную оптимизацию территориальных транспортных систем, а также разработку методов последовательного формирования отдельных уровней следует рассматривать как актуальное направление исследований, имеющее важное прикладное значение.

Целью настоящей работы является разработка методов и алгоритмов структурного синтеза многоуровневых территориальных транспортных систем.

Постановка задачи. Рассмотрим процесс последовательного формирования многоуровневой структуры территориальной транспортной системы на конкретном примере. Предположим, необходимо выполнить синтез системы путем объединения девяти производственных кластеров, в составе которых имеются взаимодействующие точечные элементы, между которыми выполняются грузовые перевозки, а также сформировать совокупность транспортных путей для гарантированного продвижения транзитных грузопотоков в заданном направлении.

Практическое решение такого рода задачи связано с необходимостью:

- формирования многоуровневой структуры территориальной транспортной системы на основе принципов оптимальности;
- определения принадлежности отдельных элементов системы к конкретным структурным уровням;
- формулировки проектных требований к отдельным элементам с учетом их функционального назначения и особенностей функционирования в рамках действующей системы.

Структурный синтез многоуровневой транспортной системы. В соответствии с условиями поставленной задачи все имеющиеся точечные элементы, рассматриваемые как источники и потребители транспортных грузопотоков, должны быть включены в состав единой системы с учетом их принадлежности к кластерам $K_1, \dots, K_9$. Схема взаимного расположения перечисленных кластеров, а также заданное направление продвижения транзитных грузопотоков в границах рассматриваемой системы показаны на рис. 1. Положение на плоскости отдельных точечных элементов, входящих в состав рассматриваемых кластеров, показано на рис. 2.

Используемая при этом система прямоугольных координат $Y^*O X^*$ располагается таким образом, чтобы ось абсцисс была ориентирована вдоль направления транзита грузовых потоков.

На основе имеющейся системы исходных данных для каждого из кластеров определялось положение транспортного центра с использованием

разработанного программного обеспечения. При этом координаты центра вычислялись из условия минимизации целевой функции, определяемой как произведение общей протяженности транспортных путей на суммарную транспортную работу, выполняемую в границах соответствующего кластера [5].

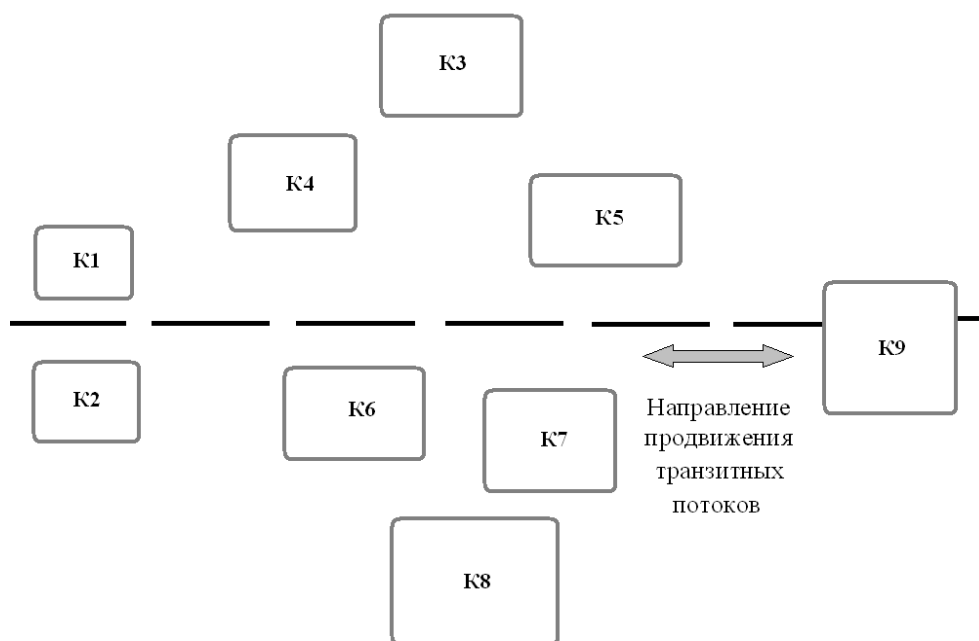


Рис. 1. Схема взаимного расположения отдельных кластеров в составе формируемой транспортной системы

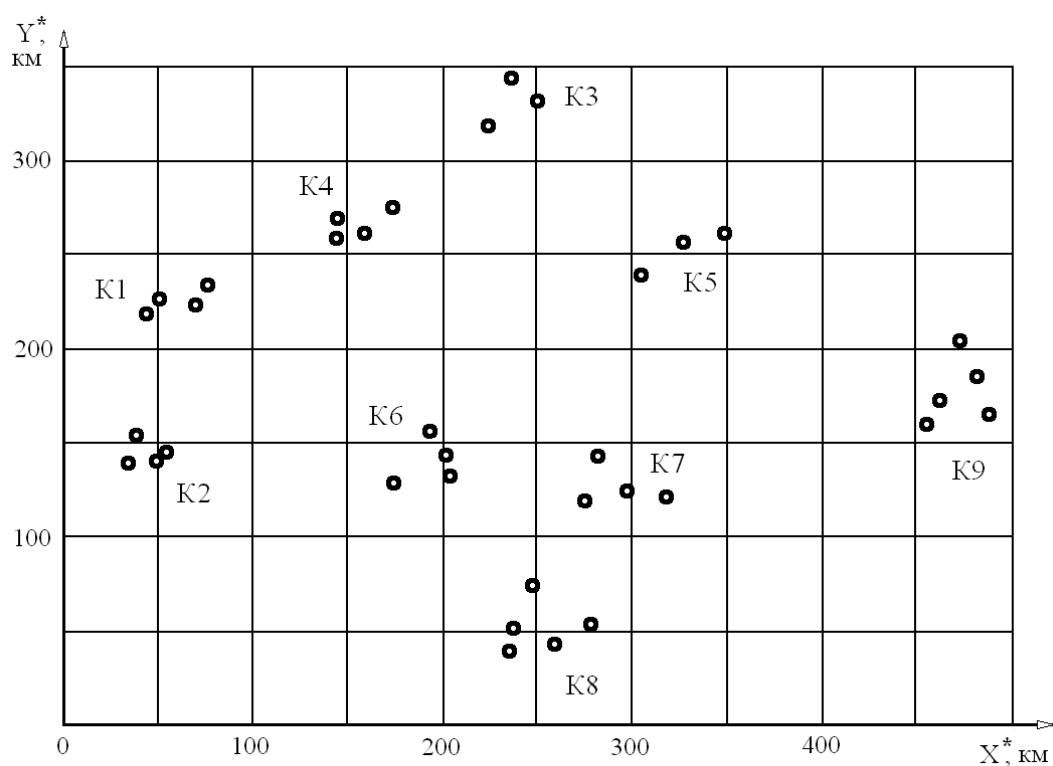


Рис. 2. Схема расположения на плоскости $Y^*O X^*$ точечных структурных элементов, принадлежащих кластерам $K1, \dots, K9$

Состав и структура местного уровня территориальной транспортной системы определяется совокупностью исходных точечных элементов, а также транспортных узлов и путей, соединяющих эти узлы с точечными элементами.

Таким образом, определение положения транспортных узлов для каждого из рассматриваемых кластеров позволяет структурировать местный уровень системы.

Формирование межрегионального уровня целесообразно выполнять таким образом, чтобы

транспортные пути, используемые для продвижения транзитных грузов, проходили через узел $M_{П9}$ кластера K9, координаты которого на плоскости $Y^*O X^*$ были установлены при формировании местного уровня системы (рис. 3). В этом случае указанный узел будет выполнять одновременно и функцию межрегионального центра, определяя тем самым положение транзитного коридора, совпадающего с осью абсцисс новой прямоугольной системы координат $Y O X$ (рис. 3).

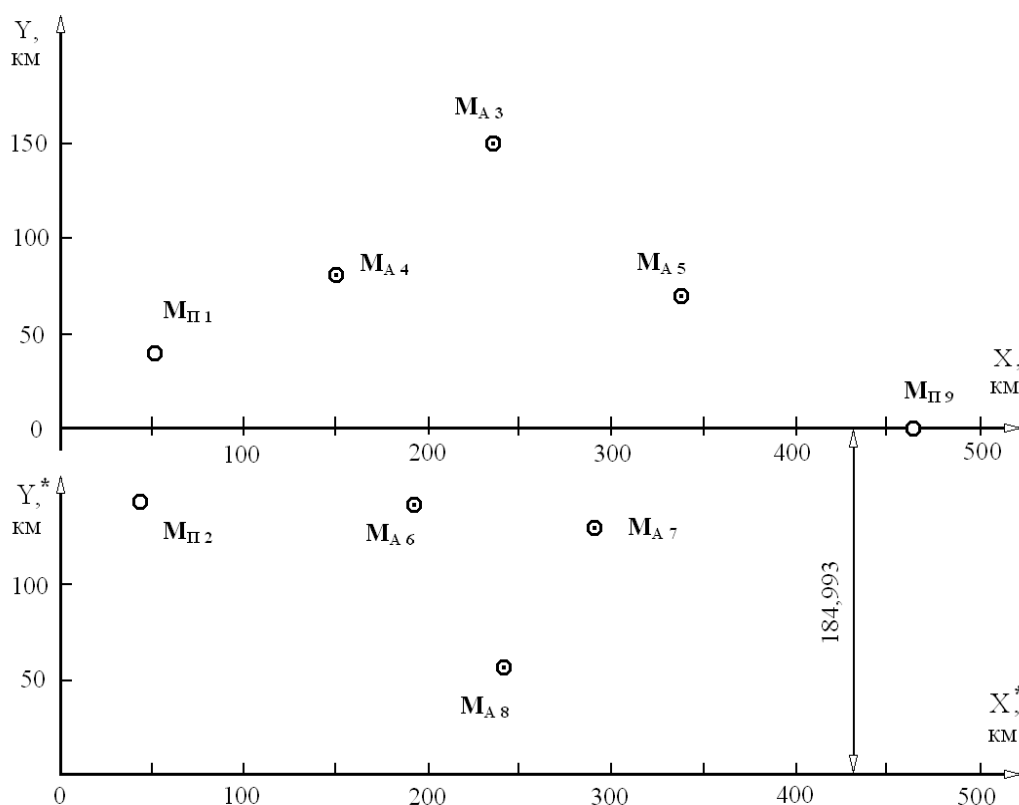


Рис. 3. Схема взаимного расположения узлов отдельных кластеров на плоскости

Для достижения этой цели необходимо осуществить параллельный перенос исходной системы координат $Y^*O X^*$ таким образом, чтобы ось абсцисс проходила через пассивный транспортный узел $M_{П9}$ (табл. 1).

В прямоугольной системе координат $Y O X$ положение транспортных узлов кластеров K1, ... K9

характеризуется значениями, которые устанавливались расчетом и приведены в табл. 1.

Дальнейшие мероприятия по формированию регионального уровня территориальной системы связаны с определением положения транспортных центров для групп кластеров K1, K2 а также K3, K4, K5 и K6, K7, K8.

Таблица 1

Характеристики положения транспортных узлов кластеров в системе координат $Y O X$

Характеристики элементов кластера		Условное обозначение кластера								
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Условное обозначение узла		M _{П1}	M _{П2}	M _{A3}	M _{A4}	M _{A5}	M _{A6}	M _{A7}	M _{A8}	M _{П9}
Активность узла		Пасс.	Пасс.	Акт.	Акт.	Акт.	Акт.	Акт.	Акт.	Пасс.
Координаты узла кластера, км	x ₀	48,22	41,37	233,39	150,53	325,35	190,01	285,91	249,45	472,30
	y ₀	41,23	−40,05	148,86	79,91	67,84	−42,48	−55,85	−133,59	0

В соответствии с исходными данными транспортные узлы кластеров К1 и К2 считаются пассивными, то есть они не рассматриваются как самостоятельные источники или потребители транспортных потоков (табл. 1). По этой причине их можно соединить отрезком прямой линии, который и будет представлять собой структурный элемент регионального уровня системы. Пересечение этим отрезком оси абсцисс позволяет установить положение межрегионального транспортного центра Λ_1 , принадлежащего в данном случае к межрегиональному уровню системы (рис. 4). Узлы кластеров К3, К4 и К5 являются активными, что следует учитывать при определении положения транспортного центра Λ_2 (рис. 4). Для решения этой задачи использовалось разработанное программное обеспечение, позволяющее учитывать как положение активных узлов, так и характеристики их активности, связанные с продвижением транспортных потоков.

С использованием указанной программы определялись и координаты транспортного центра Λ_3 для группы кластеров К6, К7 и К8 с активными узлами (рис. 4). Соединив отрезком прямой линии транспортные центры Λ_2 и Λ_3 , несложно установить положение центра Λ_4 (рис. 4). Транспортный центр Λ_4 расположен на оси OX и также принадлежит межрегиональному уровню территориальной системы, поскольку прямолинейные участки транзитного коридора в данном случае совпадают с осью абсцисс.

Рассматривая процедуру дальнейшего формирования межрегионального уровня, отметим, что положение транспортного центра Λ_5 совпадает с положением пассивного узла $M_{П9}$, что позволяет рассматривать этот точечный элемент как принадлежащий одновременно региональному и межрегиональному уровню системы.

Установленные в результате расчетов значения координат транспортных узлов и центров, характеризующих региональный и межрегиональный уровни территориальной системы, приведены в табл. 2.

Отметим, что в соответствии с изложенной процедурой формирование межрегионального уровня связано с включением в его состав участков $\Lambda_1 - \Lambda_4$ и $\Lambda_4 - \Lambda_5$, расположенных на оси абсцисс и обеспечивающих, с одной стороны, возможность скорейшего продвижения транспортных грузовых потоков, а с другой – целостность всей территориальной системы.

При этом движение транзитных грузов будет происходить по прямолинейному маршруту. Очевидно, что именно в этом случае будут созданы наиболее благоприятные условия для их скорейшего продвижения на рассматриваемом участке транзитного коридора.

Таким образом, поставленная задача структурного синтеза рассматриваемой территориальной транспортной системы решена в части выявления целесообразности использования дополнительных структурных элементов, а также определения их эксплуатационных характеристик.

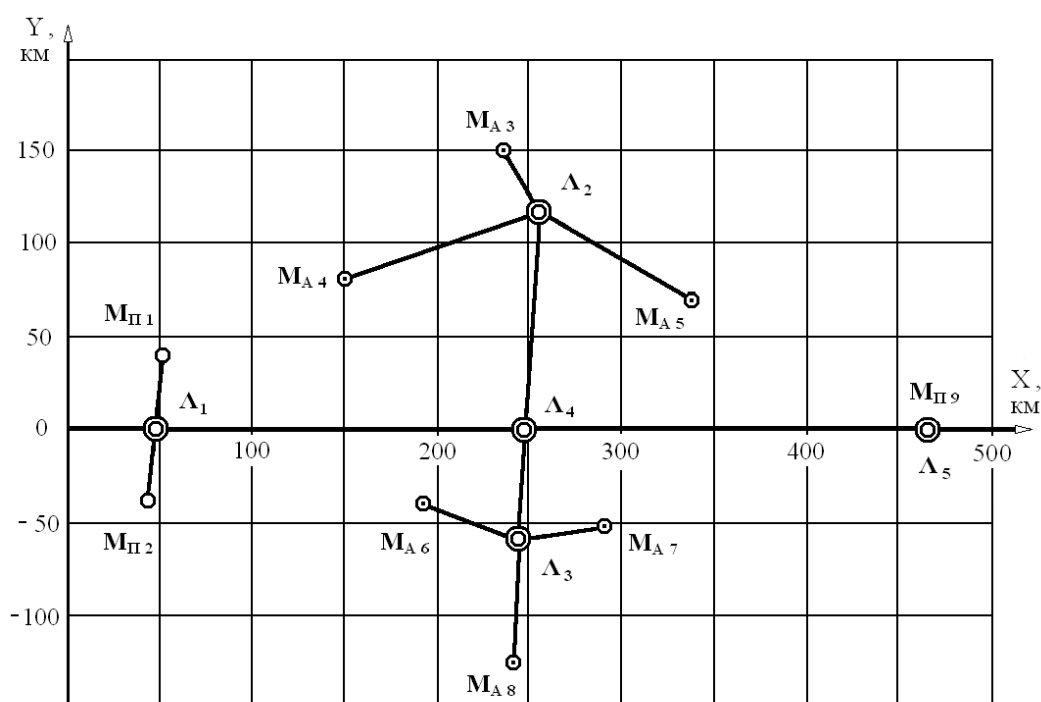


Рис. 4. Схема соединения точечных элементов регионального и межрегионального уровня территориальной транспортной системы

Таблица 2

Координаты транспортных узлов и центров транспортной системы

Обозначение точечного элемента	Функция, выполняемая в рамках системы	Принадлежность к структурному уровню	Координаты элемента в системе YOX	
			х, км	у, км
$M_{П1}$	Пассивный узел	Региональный	48,221	41,293
$M_{П2}$	Пассивный узел	Региональный	41,378	-40,059
$M_{П9} (\Lambda_5)$	Пасс. узел и тр. центр	Регион. и межрегион.	472,306	0
M_{A3}	Активный узел	Региональный	233,393	148,869
M_{A4}	Активный узел	Региональный	150,531	79,912
M_{A5}	Активный узел	Региональный	325,35	67,849
M_{A6}	Активный узел	Региональный	190,014	-42,482
M_{A7}	Активный узел	Региональный	285,914	-55,856
M_{A8}	Активный узел	Региональный	249,453	-133,599
Λ_1	Транспортный центр	Межрегиональный	44,750	0
Λ_2	Транспортный центр	Региональный	255,739	111,437
Λ_3	Транспортный центр	Региональный	245,421	-75,224
Λ_4	Транспортный центр	Межрегиональный	249,579	0

Формулировка требований к структурным элементам территориальной транспортной системы. Полученные результаты решения задачи структурного синтеза на примере объединения девяти производственных кластеров позволяют заключить, что формируемая территориальная транспортная система является трехуровневой, при этом в составе каждого уровня присутствуют как точечные, так и линейные элементы. По этой причине дальнейшее уточнение свойств структурных элементов и формулировка соответствующих проектных требований должны быть выполнены отдельно для местного, регионального и межрегионального уровня.

Точечный элемент местного уровня может представлять собой предприятие, складской комплекс, логистический центр или иной объект в составе производственного кластера, связанный транспортным сообщением и взаимодействующий в процессе функционирования с аналогичными объектами.

Пара близлежащих точечных объектов, между которыми имеются пути сообщения и осуществляются грузовые перевозки, образует линейный элемент, характеризующийся фактической длиной и номинальными значениями возникающих грузопотоков.

Применительно к рассматриваемому случаю местный уровень системы включает 37 точечных и линейных элементов в составе девяти кластеров. При этом в дальнейшем транспортные узлы кластеров рассматриваются как элементы, принадлежащие одновременно как местному, так и региональному уровню территориальной системы. Перечень линейных элементов в составе местного уровня рассматриваемой системы и их характеристики представлены в табл. 3.

Региональный уровень рассматриваемой территориальной транспортной системы включает

10 линейных элементов, обозначения и характеристики которых представлены в табл. 4.

Очевидно, что в составе межрегионального уровня рассматриваемой системы имеется два линейных элемента, характеристики которых показаны в табл. 5.

Представленные в табл. 3-5 данные позволяют не только систематизировать линейные элементы, но составить представление относительно режимов их номинального функционирования в рамках действующей системы.

Такого рода информация необходима для формулировки проектных требований ко всем элементам и уточнения структуры системы, в том числе и с учетом возможного использования нескольких видов транспорта.

Результаты исследований. Наибольшими объемами перевозок характеризуются элементы местного уровня в составе кластера K2: $M_1 - M_{П2}$, $M_2 - M_{П2}$, $M_3 - M_{П2}$, а также участки межрегионального уровня $\Lambda_1 - \Lambda_4$ и $\Lambda_4 - \Lambda_5$. Для всех перечисленных линейных элементов суммарные объемы перевозок в двух противоположных направлениях превышают 80 тыс. т/сут. Организацию перевозочного процесса в этих условиях целесообразно осуществлять железнодорожным или железнодорожным и автомобильным транспортом. На участках с меньшими объемами перевозок достаточным будет использование автотранспорта.

Очевидно, что все линейные элементы с железнодорожным сообщением для обеспечения перевозочного процесса должны быть связаны воедино и сообщаться между собой, образуя транспортную сеть. Это условие позволяет сформировать состав подсистемы железнодорожного транспорта в рамках рассматриваемой территориальной системы.

Таблица 3

Характеристики линейных элементов местного уровня системы

Обозначение элемента	Принадлежность к кластеру	Длина, км	Входящие и исходящие из узла кластера грузопотоки, тыс. т / сут	
$M_1 - M_{П1}$	К1	10,349	36,9	0
$M_2 - M_{П1}$		2,966	0	19,7
$M_3 - M_{П1}$		15,994	0	28,6
$M_4 - M_{П1}$		25,179	11,4	0
$M_1 - M_{П2}$	К2	12,402	42,2	53,6
$M_2 - M_{П2}$		13,201	0	105,2
$M_3 - M_{П2}$		4,839	80,9	0
$M_4 - M_{П2}$		8,222	35,7	0
$M_1 - M_{A3}$	К3	19,275	18,98	2,22
$M_2 - M_{A3}$		11,225	4,1	8,6
$M_3 - M_{A3}$		13,634	0	13,36
$M_1 - M_{A4}$	К4	11,618	19,6	0
$M_2 - M_{A4}$		5,646	5,08	9,66
$M_3 - M_{A4}$		22,242	0	10,3
$M_4 - M_{A4}$		11,699	0	15,18
$M_1 - M_{A5}$	К5	28,417	12,1	7,5
$M_2 - M_{A5}$		6,712	10,7	7,7
$M_3 - M_{A5}$		7,677	2,2	13,9
$M_4 - M_{A5}$		21,131	6,2	6,6
$M_1 - M_{A6}$	К6	23,603	16	22,5
$M_2 - M_{A6}$		15,206	13,8	0
$M_3 - M_{A6}$		6,653	1,2	14
$M_4 - M_{A6}$		13,151	0	4,7
$M_1 - M_{A7}$	К7	18,351	18,9	0
$M_2 - M_{A7}$		16,928	10,5	15,7
$M_3 - M_{A7}$		5,664	0	19,1
$M_4 - M_{A7}$		28,098	6,4	0
$M_1 - M_{A8}$	К8	22,545	0	2
$M_2 - M_{A8}$		16,273	17,9	0
$M_3 - M_{A8}$		14	5	8,2
$M_4 - M_{A8}$		7,927	0	18,3
$M_5 - M_{A8}$		26,943	10,8	9,6
$M_1 - M_{П9}$	К9	33,499	3,3	0
$M_2 - M_{П9}$		17,564	10,8	5,5
$M_3 - M_{П9}$		21,032	9,2	6,2
$M_4 - M_{П9}$		5,826	7,3	13,8
$M_5 - M_{П9}$		21,586	2,2	7,3

Таблица 4

Характеристики линейных элементов регионального уровня системы

Обозначение элемента	Длина элемента, км	Величина грузопотока, тыс. т / сут	
		Прямого	Обратного
$M_{П1} - \Lambda_1$	41,939	–	–
$M_{П2} - \Lambda_1$	40,201	–	–
$M_{A3} - \Lambda_2$	43,595	3,78	4,88
$M_{A4} - \Lambda_2$	109,83	0,78	1,58
$M_{A5} - \Lambda_2$	82,132	4,4	8,9
$M_{A6} - \Lambda_3$	64,358	2,4	12,6
$M_{A7} - \Lambda_3$	44,887	6,4	5,4
$M_{A8} - \Lambda_3$	58,514	3,8	8,2
$\Lambda_2 - \Lambda_4$	117,607	8,96	15,36
$\Lambda_3 - \Lambda_4$	75,339	12,6	26,2

Таблица 5

Характеристики линейных элементов межрегионального уровня системы

Обозначение элемента	Длина элемента, км	Величина грузопотока, тыс. т / сут	
		Прямого	Обратного
$\Lambda_1 - \Lambda_4$	204,829	127,24	115
$\Lambda_4 - \Lambda_5$	222,727	110	117,76

Для обеспечения единства всей транспортной системы соединяться между собой должны и все автомобильные дороги, совокупность которых и будет представлять собой подсистему автомобильных сообщений. Данные, характеризующие линейные элементы рассматриваемой территориальной системы с учетом их принадлежности к подсистемам автомобильного и железнодорожного транспорта, приведены в табл. 6.

Видно, что один и тот же линейный элемент может относиться как к подсистеме железнодорожного, так и автомобильного транспорта. Это означает, что рассматриваемый участок будет характеризоваться наличием

железнодорожного и автомобильного сообщения, а также соответствующими объемами перевозок. При этом соотношение объемов перевозок между видами транспорта определяется характером грузов, структурой грузопотоков, ожидаемыми затратами на доставку и т.п.

Что касается требований к отдельным точечным элементам системы, то для их формулировки необходимо иметь дополнительную информацию, связанную с конкретными характеристиками грузов, их разновидностью, характером и объемами переработки, особенностям хранения, складирования, транспортировки, соблюдения мер безопасности и т.п.

Таблица 6

Состав подсистем железнодорожного и автомобильного транспорта транспортной системы

Структурный уровень территориальной системы	Перечень линейных элементов подсистемы транспорта	
	Железнодорожного	Автомобильного
Местный	Элементы кластера K2: $M_1 - M_{II2}, M_2 - M_{II2}, M_3 - M_{II2}$	Все элементы кластеров: $K1, \dots, K9$
Региональный	$M_{II2} - \Lambda_1$	$M_{II1} - \Lambda_1, M_{II2} - \Lambda_1,$ $M_{A3} - \Lambda_2, M_{A4} - \Lambda_2,$ $M_{A5} - \Lambda_2, M_{A6} - \Lambda_3,$ $M_{A7} - \Lambda_3, M_{A8} - \Lambda_3,$ $\Lambda_2 - \Lambda_4, \Lambda_3 - \Lambda_4$
Межрегиональный	$\Lambda_1 - \Lambda_4, \Lambda_4 - \Lambda_5$	$\Lambda_1 - \Lambda_4, \Lambda_4 - \Lambda_5$

Выводы. 1. Разработан метод структурного синтеза многоуровневых территориальных транспортных систем на основе принципов многопараметрической оптимизации.

2. Разработаны и апробированы на конкретном примере алгоритмы и программное обеспечение, позволяющие решать задачу структурного синтеза системы на различных уровнях.

Л и т е р а т у р а

1. Силич В.А. Декомпозиционные алгоритмы построения моделей сложных систем / В.А. Силич. – Томск: Изд. Томск. ун-та, 1982. – 136 с.
2. Бутов А.С. Транспортные системы. Моделирование и управление / А.С. Бутов и др.; под ред. А.С. Бутова. – СПб.: Судостроение, 2001. – 552 с.
3. Белый О.В. Архитектура и методология транспортных систем / О.В. Белый, О.Г. Кокаев, С.А. Попов. – СПб.: Элмор, 2002. – 256 с.
4. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем / А.Э. Горев. – СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 214 с.
5. Тарарычкин И.А. Структура логистических транспортных систем и особенности её формирования на местном уровне // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту. ім. В. Даля. – 2014. – № 4 (211) Ч. 1. – С. 69-72.

R e f e r e n c e s

1. Silich V.A. Dekompozicionnye algoritmy postroenija modelej slozhnyh sistem / V.A. Silich. – Tomsk: Izd. Tomsk. un-ta, 1982. – 136 p.
2. Butov A.S. Transportnye sistemy. Modelirovanie i upravlenie / A.S. Butov i dr.; pod red. A.S. Butova. – SPb.: Sudostroenie, 2001. – 552 p.
3. Belyj O.V. Arhitektura i metodologija transportnyh sistem / O.V. Belyj, O.G. Kokaev, S.A. Popov. – SPb.: Jelmor, 2002. – 256 p.

4. Gorev A.Je. Osnovy teorii transportnyh sistem / A.Je. Gorev. – SPbGASU. – SPb., 2010. – 214 p.

5. Tararychkin I.A. Struktura logisticheskikh trans-portnyh sistem i osobennosti ejo formirovanija na mestnom urovne // Visn. Shidnoukr. nac. un-tu. im. V. Dalja. – 2014. – № 4 (211) Ch. 1. – P. 69-72.

Tararychkin I.A.

STRUCTURAL SYNTHESIS OF THE MULTILEVEL TERRITORIAL TRANSPORT SYSTEMS

Methods and algorithms of structural synthesis of the multilevel territorial transport systems are developed. The possibilities of methods are considered on the example of forming of the system which structure includes nine production clusters. The considered system provides interaction of different types of transport. Besides, the functioning transport system allows the possibility of promotion of transit cargo flows. Subsystems of the road and rail transport taking into account requirements to integrity of all transport system are created.

Key words: transport system, optimization, structure, synthesis, cargo flows, transit.

Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., зав. каф. «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: donbass_8888@mail.ru

Tararychkin Igor, Dr. Sci. (Eng.), professor, head of the «Transport Technologies» Department of SEE of HE «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, д.т.н., проф. кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 29.03.2021

УДК 539.3:624.072

МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ МАТРИЦ ЖЕСТКОСТИ В СТЕРЖНЕВЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Тасанг Э.Х., Иванова Е.И., Ключев А.С., Мокшина О.В., Сметанин С.А.

METHOD FOR CALCULATING RIGIDITY MATRICES IN ROD FINAL ELEMENTS

Tasang E.H., Ivanova E.I., Klyuev A.S., Mokshina O.V., Smetanin S.A.

Статья посвящена вопросам вычисления и программной реализации матриц жесткости стержней при расчете на прочность и жесткость стержневых конструкций методом конечных элементов. Материал может быть полезен при написании программ расчета стержневых систем и для студентов учебных заведений при изучении дисциплины «Строительная механика».

Ключевые слова: метод конечных элементов, шарнир, матрица жесткости.

Введение. Стержневые конструкции (конструкции, в которых продольные размеры отдельных элементов несоизмеримо больше поперечных размеров) встречаются во многих отраслях промышленности. В области железнодорожного транспорта, например, это рычажная передача колодочного тормоза.

Анализ последних исследований и публикаций. Умение рассчитывать напряжения и деформации в таких конструкциях имеет огромное значение при их проектировании. Самым широко применяемым методом расчета стержневых конструкций является метод конечных элементов из-за его универсальности и алгоритмичности [1-6].

Цель исследования. Одной из самых основных задач метода конечных элементов является вычисление матриц жесткости отдельных стержней системы в локальной системе координат с учетом шарниров в узлах их соединения с другими стержнями.

Материалы и результаты исследования. Типичным элементом стержневой изгибаемой конструкции является шарнир. Наличие шарнира предполагает отсутствие поворотной связи между торцом стержня и соответствующим узлом. Для учета наличия шарнира при расчете используется или четыре выражения для матриц жесткости стержня в локальной системе координат (стержень без шарниров, стержни с шарниром в его начале или в конце и стержень с шарнирами в начале и в конце), или применяют метод конденсации для жестко закрепленного стержня [1-6].

Метод конденсации заключается в следующем алгоритме вычислений.

Известна матрица жесткости для жестко закрепленного стержня, вычисленная методом перемещения:

$$[K]_i = \frac{E_i J_i}{L_i^3} \begin{bmatrix} \frac{A_i L_i^2}{J_i} & 0 & 0 & -\frac{A_i L_i^2}{J_i} & 0 & 0 \\ 0 & 12 & 6L_i & 0 & -12 & 6L_i \\ 0 & 6L_i & 4L_i^2 & 0 & -6L_i & 2L_i^2 \\ -\frac{A_i L_i^2}{J_i} & 0 & 0 & \frac{A_i L_i^2}{J_i} & 0 & 0 \\ 0 & -12 & -6L_i & 0 & 12 & -6L_i \\ 0 & 6L_i & 2L_i^2 & 0 & -6L_i & 4L_i^2 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где A_i , E_i , J_i – площадь поперечного сечения, модуль упругости и момент инерции стержня; L_i – длина – i -го стержня; $[K]_i$ – матрица жесткости i -го стержня, которую в дальнейшем для упрощения формы записи обозначим K . Так же поступим и с остальными элементами параметров стержня (отбросим индекс принадлежности стержня).

Как уже было сказано, наличие шарнира предполагает отсутствие поворотной связи между торцом стержня и соответствующим узлом. Этим поворотным связям в матрице жесткости соответствует 3-я связь при шарнире в начале стержня и 6-я – при наличии шарнира в конце стержня.

Обозначим эту связь идентификатором s , который может быть равен 3 или 6. Учет шарнира и преобразование матрицы (1) в матрицу K^s , согласно методу конденсации, производится следующим образом:

$$K^s = K - K^{(s)} (K_{s,s})^{-1} (K^T)^{(s)T}, \quad (2)$$

где обозначение $K^{(s)}$ – означает s -й столбец исходной матрицы; $K_{s,s}$ – ее элемент на пересечении s -й строки и s -го столбца; $(K_{s,s})^{-1}$ – обратная величина элемента $K_{s,s}$; K^T – транспонированная исходная матрица; $(K^T)^{(s)}$ – ее s -й столбец и $(K^T)^{(s)T}$ – транспонирование этой матрицы. Элементу на пересечении s -й строки и s -го столбца присваивают значение “1”.

При $s = 3$ (шарнир в начале стержня) имеем:

$$K^{(s)} = \frac{EJ}{L^3} \begin{bmatrix} 0 \\ 6L \\ 4L^2 \\ 0 \\ -6L \\ 2L^2 \end{bmatrix}; (K_{s,s})^{-1} = \frac{1}{4L^2};$$

$$(K^T)^{(s)T} = [0 \quad 6L \quad 4L^2 \quad 0 \quad -6L \quad 2L^2].$$

После подстановки определенных подматриц в (2) получим выражение для матрицы жесткости стержня с шарниром в его начале:

$$K^3 = \frac{EJ}{L^3} \begin{bmatrix} \frac{AL^2}{J} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{J} & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & -3 & 3L \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AL^2}{J} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{J} & 0 & 0 \\ 0 & -3 & 0 & 0 & 3 & -3L \\ 0 & 3L & 0 & 0 & -3L & 3L^2 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

При значении $s = 6$ (шарнир в конце стержня) аналогично получим:

$$K^6 = \frac{EJ}{L^3} \begin{bmatrix} \frac{AL^2}{J} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{J} & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 3L & 0 & -3 & 0 \\ 0 & 3L & 3L^2 & 0 & -3L & 0 \\ -\frac{AL^2}{J} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{J} & 0 & 0 \\ 0 & -3 & -3L & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

При программировании данного метода конденсации вначале выполняем проверку на наличие шарнира в начале стержня. При истинном значении этого условия выполняем описанные выше преобразования над исходной матрицей стержня и в результате присваиваем ей полученный результат.

Далее выполняем проверку на наличие шарнира в конце стержня. При истинном значении этого условия выполняем описанные выше преобразования над исходной (если шарнир в начале нет) или полученной в результате предыдущих преобразований матрицей стержня (если в начале стержня шарнир присутствует) и в результате присваиваем ей полученный результат.

При наличии шарниров в начале и конце стержня преобразования над исходной матрицей жесткости выполняются дважды. и в результате получится следующая матрица:

$$K^{3,6} = \frac{EJ}{L^3} \begin{bmatrix} \frac{AL^2}{J} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{J} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AL^2}{J} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{J} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Для иллюстрации приведем пример реализации данного метода на Mathcad:

$$KE(k) := \begin{cases} K \leftarrow Rst_k \\ \text{if } (sh_k = 1 \vee sh_k = 3) \\ \quad K \leftarrow K - K^{(3)} \cdot (K_{3,3})^{-1} \cdot (K^T)^{(3)T} \\ \quad K_{:,3} \leftarrow 1 \\ \text{if } (sh_k = 2 \vee sh_k = 3) \\ \quad K \leftarrow K - K^{(6)} \cdot (K_{6,6})^{-1} \cdot (K^T)^{(6)T} \\ \quad K_{6,6} \leftarrow 1 \\ K \end{cases} \quad (6)$$

и скрипт функции на языке JavaScript:

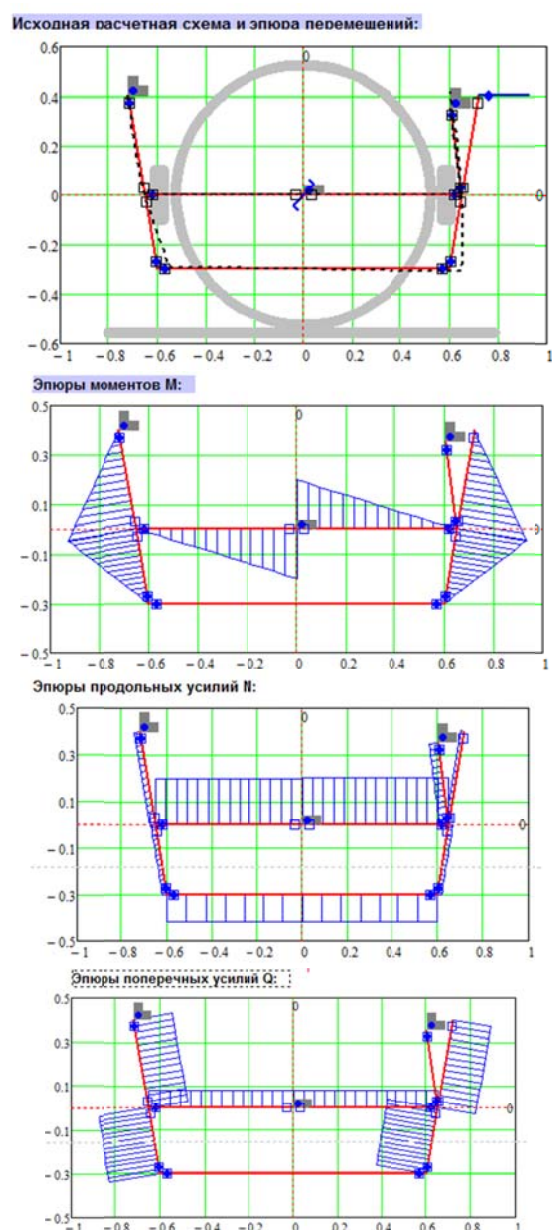
```
function loc_gl_matr_g() { //Локальные матрицы жесткости
  в общей системе координат:
  function loc_matr_g_sh() { //Учет шарниров в локальных
    матрицах методом конденсации:
    for(i=0; i<el.length; i++) { //Перебор стержней
      R3_sh=numeric["*"](numeric.rep([6,6],1),R[i]); //Заг
      отовка матрицы 6x6
      if( el[i][11]==1||el[i][11]==3) { //Если начальный
        узел стержня - ШАРНИР
        R1_sh=numeric.getBlock(R[i],[0,2],[5,2]);
        R2_sh=numeric.dot(numeric["*"](R1_sh,
        1/R[i][2][2]), numeric.transpose(R1_sh) );
        R3_sh=numeric["*"](R[i],R2_sh);
        R3_sh[2][2]=1;
      };
      if( el[i][11]==2||el[i][11]==3) { //Если
        конечный узел стержня - ШАРНИР

        R1_sh=numeric.getBlock(R3_sh,[0,5],[5,5]);

        R2_sh=numeric.dot(numeric["*"](R1_sh,
        1/R3_sh[5][5]), numeric.transpose(R1_sh) );
        R3_sh=numeric["*"](R3_sh,R2_sh);
        R3_sh[5][5]=1;
      };
      for(i1=0; i1<6; i1++) {
        for(j=0; j<6; j++) {
          if(Math.abs(R3_sh[i1][j])<1e-
          13) { R3_sh[i1][j]=0; };
        };
      };
      R_sh[i]=R3_sh;
    };
    return (R_sh); //R_sh);
  };
}
```

Приведенные выражения для метода конденсации использованы в разработанных программах в системе Mathcad и на языке JavaScript в html (MKE_V1.1.html) для расчета рычажной системы тормоза тепловоза 2ТЭ116 [7] (рис. 1).

В системе Mathcad:



На языке JavaScript в html:

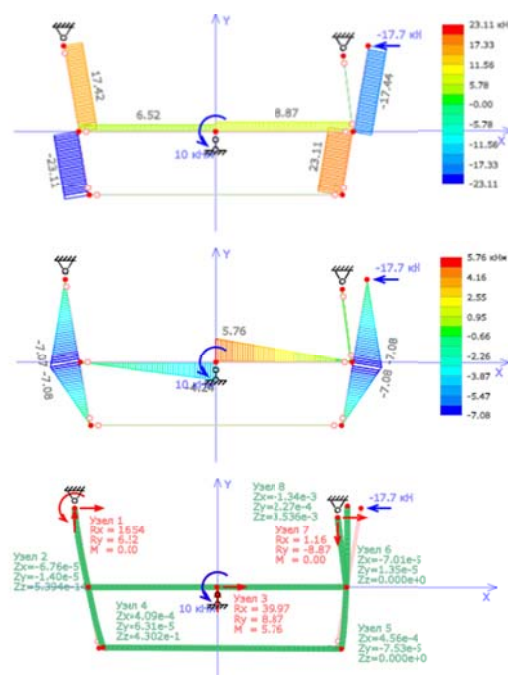
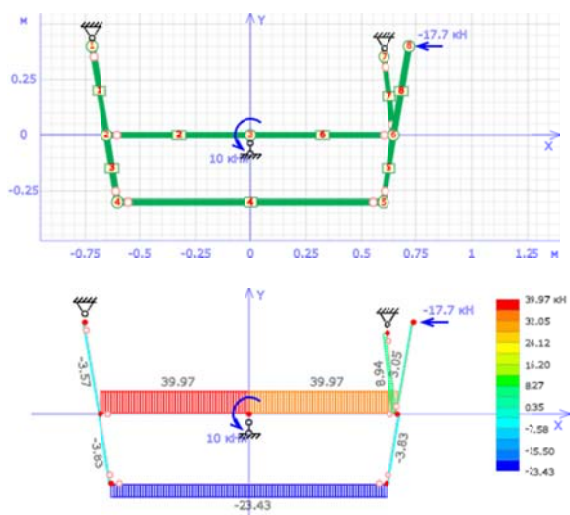


Рис. 1. Расчетная схема и эпюры в стержнях рамы рычажной системы тормоза тепловоза 2ТЭ116 на Mathcad и html (MKE_V1.1.html)

Выводы. Рассмотрены вопросы расчета напряженно-деформированного состояния стержневых конструкций, в которых продольные размеры отдельных элементов несоизмеримо больше поперечных размеров, методом конечных элементов. Алгоритм вычисления матриц жесткости отдельных стержней системы в локальной системе координат с учетом шарниров методом конденсации реализован в разработанных программах на Mathcad и html (MKE_V1.1.html) для расчета рычажной системы тормоза тепловоза 2ТЭ116.

Литература

1. Валиуллин А.Х. Расчет плоских рам с промежуточными шарнирами методом конечных элементов / А.Х. Валиуллин // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2011. – № 6. – С. 194-199.
2. Тухфатуллин Б.А. Численные методы расчета строительных конструкций. Метод конечных элементов (теория и практика) [Текст]: учебное пособие / Б.А. Тухфатуллин. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. – 100 с.
3. Дьяков И.Ф. Метод конечных элементов в расчетах стержневых систем: учебное пособие / И.Ф. Дьяков, С.А. Чернов, А.Н. Черный. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 133 с.
4. Порошин В.Б. Расчеты на прочность – это просто!: Учебное пособие. – Челябинск: ЮУрГУ, 2005. – 44 с.
5. Бундаев В.В. Руководство к решению задач по механике твердого деформируемого тела матричными методами: Учебное пособие. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2005. – 223 с.
6. Хечумов Р.А., Кепплер Х., Прокопьев В.И. Применение метода конечных элементов к расчету конструкций. – М.: Издательство АСВ, 1994. – 353 с.

7. Тасанг Э.Х. Методика расчёта межузловых перемещений в стержневых конечных элементах / Тасанг Э.Х., Воронов О.В., Быкадоров В.В., Тишук Л.И., Иванова Е.И., Ключев А.С. // В сборнике: Транспорт: наука, образование, производство («Транспорт-2021»). Труды Международной научно-практической конференции: секция «Теоретические и практические вопросы транспорта». 2021. - С. 28-35.

References

1. Valiullin A.H. Raschet ploskih ram s promezhutochnymi sharnirami metodom konechnykh jelementov / A.H. Valiullin // Vestnik Kazan. tehnol. Un-ta. – 2011. – № 6. – P. 194-199.
2. Tuhfatullin B.A. Chislennye metody rascheta stroitel'nykh konstrukcij. Metod konechnykh jelementov (teorija i praktika) [Tekst]: uchebnoe posobie/ B.A. Tuhfatullin. – Tomsk: Izd-vo Tom. gos. arhit.-stroit. un-ta, 2013. – 100 p.
3. D'jakov I.F. Metod konechnykh jelementov v raschetah sterzhnevyykh sistem: uchebnoe posobie/ I.F. D'jakov, S.A. Chernov, A.N. Chernyj. – Ul'janovsk: UIGTU, 2010. – 133 p.
4. Poroshin V.B. Raschety na prochnost' – jeto prosto!: Uchebnoe posobie. – Cheljabinsk: JuUrGU, 2005. – 44 p.
5. Bundaev V.V. Rukovodstvo k resheniju zadach po mehanike tverdogo deformiruемого tela matrichnymi metodami: Uchebnoe posobie. Ulan-Udje: Izd-vo VSGTU, 2005. – 223 p.
6. Hechumov R.A., Keppler H., Prokop'ev V.I. Primenenie metoda konechnykh jelementov k raschetu konstrukcij. – M.: Izdatel'stvo ASV, 1994. – 353 p.
7. Tasang E.H. Metodika raschjota mezhuzlovykh peremeshhenij v sterzhnevyykh konechnykh jelementah / Tasang E.H., Voronov O.V., Bykadorov V.V., Tishhuk L.I., Ivanova E.I., Kljuev A.S. // V sbornike: Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo («Transport-2021»). Trudy mezhdunarodnoj Nauchno-prakticheskoj konferencii: sekcija «Teoreticheskie i prakticheskie voprosy transporta». 2021. - P. 28-35.

Tasang E.H., Ivanova E.I., Klyuev A.S., Mokshina O.V., Smetanin S.A.

METHOD FOR CALCULATING RIGIDITY MATRICES IN ROD FINAL ELEMENTS

The article is devoted to the calculation and programmatic implementation of rod stiffness matrices, when calculating the strength and stiffness of rod structures using the finite element method. The material can be useful when writing programs for calculating rod systems and for students of educational institutions in the study of the discipline "construction mechanics".

Key words: finite elements method, hinge, stiffness matrix.

Тасанг Эрик Хельмутович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР

«Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: tasang@mail.ua

Tasang Erik, senior lecturer of the «Railway transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Иванова Елена Ивановна, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: eleandra1@mail.ru

Ivanova Elena, senior lecturer of the «Railway transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Ключев Александр Семенович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: aklyev1954@gmail.com

Klyuev Alexander, senior lecturer of the «Railway transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Мокшина Ольга Васильевна, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: eleandra1@mail.ru

Mokshina Olga, senior lecturer of the «Railway transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Сметанин Сергей Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Железнодорожный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: tzi.cta.ltz@gmail.com

Smetanin Sergej, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the «Railway transport» Department of State Educational Establishment of Higher Education «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, д.т.н., проф., проректор по научной работе и инновационной деятельности, заведующий кафедрой «Технология машиностроения и инженерный консалтинг», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 15.04.2021

УДК 624.625.08:621.86/.87.004.17

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Шовкопляс А.В.

THE MAIN DIRECTIONS OF INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF THE WORKING BODIES OF ROAD CONSTRUCTION AND LIFTING AND TRANSPORT MACHINES

Shovkoplias A.V.

Несмотря на высокий уровень развития современного машиностроения, использование в конструкциях выпускаемых машин элементов компьютерной техники и искусственного интеллекта, разработку и выпуск машин многоцелевого назначения и гибридной техники при обеспечении высокого уровня комфорта и безопасности эксплуатирующего их персонала, острой остается проблема повышения надежности машин в целом, в частности, их рабочих органов – ножей, зубьев, клыков и пр.

Анализу способов повышения износостойкости рабочих органов дорожно-строительной и подъемно-транспортной техники посвящена эта статья.

Ключевые слова: изнашивание, износостойкость, рабочий орган, наплавка, легирование, упрочнение, давление.

Введение. Обобщение опыта эксплуатации дорожно-строительных и подъемно-транспортных машин и проведенные исследования позволяют установить основные направления и пути повышения долговечности и износостойкости их рабочих органов. Таковыми являются уменьшение давления на поверхности трения деталей; уменьшение давления на рабочие поверхности и частоты его изменения; подбор рациональной структуры материалов; технологическое обеспечение постоянства свойств на все время работы и при различных условиях эксплуатации [1].

Каждое из этих направлений имеет несколько основных задач. Например, уменьшение давления на поверхности трения может быть достигнуто за счет создания конструкций, обеспечивающих более равномерные нагрузки на рабочие поверхности; применение рациональных форм рабочих органов, материалов, обеспечивающих увеличение площади контакта и др.

Уменьшение трения рабочих поверхностей может быть достигнуто путем: применения рациональных систем привода и конструкций исполнительных механизмов, обеспечивающих их

плавное включение, разгон и торможение и ограничение усилий и моментов; создания рациональных конструкций устройств, в которых относительные перемещения поверхностей трения и их частота ограничиваются специальными устройствами.

Уменьшение сил трения может быть достигнуто путем: повышения износостойкости рабочих поверхностей упрочнением их, обеспечивающих эффективное использование, например, электрофоре́за, термомеханической обработки, упрочнения борированием и обработкой лазером.

Изложение основного материала. На выпускаемых ранее дорожно-строительных машинах в основном применялись зубья, так называемой вилчатой конструкции, которые устанавливались на козырьке ковша своей прорезью и закреплялись болтами. Наряду с простотой крепления данной конструкции были и недостатки – необходимость изготовления отверстий в зубьях и козырьке, чем увеличивается трудоемкость работ по их изготовлению и монтажу и ослабляется конструкция, а при износе требуется менять весь зуб. На современных машинах начали использовать вставные зубы, устанавливаемые в карманы передней стенки козырька. При этом была достигнута определенная унификация внутри машин одного вида.

Основной задачей дальнейших исследований является межвидовая унификация конструкции рабочих органов дорожно-строительных машин, в частности ковшей для сокращения числа деталей. Предлагается использовать для крепления зубьев кованые корпуса. Один и тот же корпус можно использовать для крепления зубьев ковшей экскаваторов, погрузчиков, грейферов и т. д. Корпуса крепления получают методомковки и выполнены из хромомолибденовой стали, подвергнутой дегазации в вакууме. После

термообработки достигалась твердость HB 3000 МПа, что повышало износостойкость при обеспечении хорошей свариваемости. Недостатком применения данных корпусов также является необходимость при изнашивании 20-30% металла зубьев заменять их полностью.

Применение составных зубьев является дальнейшим развитием идеи унификации. Зуб состоит из основания и сменной коронки. Основание зуба приваривают к козырьку. При деформации или изнашивании установочной части основания можно использовать переходные элементы, привариваемые к торцу основания. Коронка зуба выполнена из хромоникелемолибденовой стали, благодаря чему улучшено качество поверхностей и повышена прочность.

Зубья изготавливают ковкой, чем обеспечиваются однородность их материала, отсутствие пор, повышенная прочность вследствие перемещения зерен, более точные размеры, одинаковое качество.

При термообработке твердость зубьев достигает примерно HB 5000 МПа, что значительно повышает их износостойкость. Кроме того, зубья получают самозатачивающимися, что обеспечивает достаточно эффективное заглубление даже в случае изнашивания. По данным фирм «Titan Intertractor» (Германия) и «Komatsu Global» (Япония), такая конструкция позволяет в 4-5 раз уменьшить расход металла.

Для закрепления коронки зуба разработано много конструкций стопорных устройств.

Ковшами разрабатывают грунты с различными свойствами. Поэтому разрабатываются конструкции ковшей с учетом выполняемых ими работ. Так, например, на ковшах, предназначенных для разработки сыпучих и связанных грунтов, передняя часть козырька должна быть отогнута для прямых лопат наружу на $11-13^\circ$, а зубья должны выступать вперед на $(1,2-1,3) \cdot b_k$, где b_k – высота входного отверстия ковша (рис. 1, а). У ковшей, предназначенных для разработки дробленых скальных пород, передняя стенка козырька должна быть отогнута вперед на $35-40^\circ$, а зубья – выступать вперед на $(1,4-1,5) \cdot b_k$ (рис. 1, б).

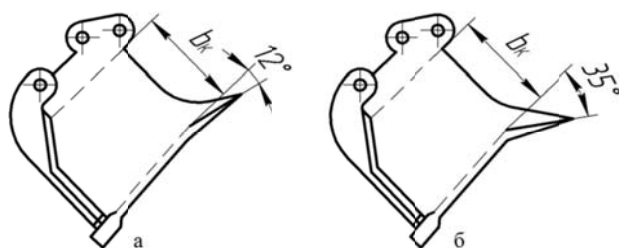


Рис. 1. Схема ковшей прямых лопат:
а – для работы в нескальных грунтах;
б – для работы в дробленых скальных грунтах

Результаты исследований. Изнашивание зубьев и коронок зависит не только от нагрузок, но

и от характера нагружения. Уменьшить скорость изнашивания можно путем уменьшения нагрузки, частоты и характера ее изменения за счет стабилизации процессов нагружения. На одноковшовых экскаваторах это достигается путем автоматизации процесса копания. Обычно машинист о величине нагрузки на привод судит по изменению скорости движения ковша и поэтому реагирует на перегрузку с определенным запаздыванием, а применение автоматизированной системы управления, независимой от машиниста, определенным образом устраняет появление опасных перегрузок.

Например, для экскаватора с электроприводом разработана система автоматизированного управления процессом копания, что позволяет на 5% сократить продолжительность копания, на 7,5% увеличить наполнение ковша, на 10-12% снизить наибольшую нагрузку в подъемном канате. На экскаваторах с гидроприводом применение автоматизированной системы управления копания также позволяет снизить динамику процесса. При этом ресурс зубьев ковшей экскаваторов увеличивается на 15-20%. Это позволяет получить дополнительную экономию металла до 50-70 кг на одну машину в год.

Создание и использование материалов с новыми свойствами позволяет повысить износостойкость рабочих органов. Так, например, по данным фирмы «Komatsu Global» (Япония), увеличение твердости коронок зубьев ковшей экскаваторов позволяет увеличить их ресурс в 1,5 раза.

Для надежной работы рабочих органов дорожно-строительных и подъемно-транспортных машин, работающих в различных климатических зонах, большое значение имеет способность материалов, из которых они изготовлены, сохранять пластических свойств, так как эта способность при различных температурах не одинакова и резко снижается в области отрицательных температур. При этом пластические свойства у различных сталей, подвергнутых термообработке разными способами, различаются. Проведенные испытания показали, что применение материалов, обладающих одновременно высокой твердостью и высокой вязкостью, обеспечивает повышение ресурса до 2,0-2,5 раз [2].

Существенное влияние на износостойкость оказывает также количество в стали неметаллических примесей. При уменьшении содержания углерода в стали с 1,0 до 0,2% износостойкость увеличивается в 1,4 раза. Для обеспечения необходимого уровня пластичности содержание углерода должно быть в пределах 0,23-0,28%.

Дальнейшие исследования процесса копания грунтов вскрывают новые положения, позволяющие улучшить технологию изготовления и работоспособность рабочих органов. Установлено,

что на структуру металла и образование волосовидных трещин при литье зубьев ковша экскаватора влияет характер концентрации металла – массивность отдельных их участков. На литых зубьях из стали 110 Г13Л в месте наибольшей концентрации металла получают усадочные раковины, что приводит к образованию в этом месте волосовидных трещин и дальнейшим поломкам. Изменение профиля рабочих плоскостей зуба позволило перераспределить металл по сечению зуба и уменьшить объем металла. В результате поломки прекратились, и увеличилась износостойкость.

На проведении строительных работ в условиях низких температур была проверена износостойкость коронок зубьев, изготовленных из различных материалов. Проводились испытания коронок, изготовленных из сталей марок 45ХГМ, 120АГ13ХЗ, ХГСНХ и 20ХГСНХ с наплавкой, а также стальные коронки фирмы «Kato Works Ltd.» (Япония). Износостойкость коронок из стали 120АГ13ХЗ при работе в скальных грунтах и коронок из стали 20ХГСНХ при работе в песчано-гравийных грунтах была больше в 1,4 раза износостойкости стальных коронок фирмы «Kato Works Ltd.», а интенсивность изнашивания снизилась соответственно с 4,17 до 3,33 мм/тыс. м³ и с 5,84 до 3,42 мм/тыс. м³ [7].

При исследовании процесса копания [3] грунта коронкой-зубом рыхлителя было установлено, что энергоемкость процесса уменьшается, если стружку расчленить относительно стойки рыхлителя. Для этого на рабочей плоскости коронки зуба было установлено дополнительное ребро (гребень). При такой конструкции прочность и износостойкость зуба рыхлителя увеличилась, также возросла и производительность.

Работоспособность рабочих органов дорожно-строительных машин, например, ножей бульдозеров, повышается в результате применения новых методов обработки металла ножа.

Предложена технология изготовления ножей с применением при термообработке обжима рабочей поверхности ножа прокаткой или ударной обработки [4]. Основной фазой структуры металла после термомеханической обработки является мартенсит с более равномерно расположенными пластинами.

Значительный интерес представляет также работы по созданию новых высокопрочных износостойких сталей.

Были разработаны наконечники рыхлителей из стали 38ХС [6]. Рыхлители с этими наконечниками разрабатывали скальные грунты VII-VIII категорий прочности. Установлено, что для сталей мартенситного класса с повышением твердости рабочей части наконечника зуба увеличивается и его износостойкость.

Скорость изнашивания с увеличением твердости от HRC 40 до HRC 50 уменьшилась в 2

раза. Однако с увеличением твердости более HRC 50 наблюдались случаи снижения износостойкости вследствие увеличения выкрашивания поверхностных слоев металла из-за сильного их охрупчивания. Для обеспечения высокой износостойкости рабочих органов подъемно-транспортных машин, которые при работе могут нагреваться до 500-600 °С, необходимо применять сталь, сохраняющую твердость независимо от изменения температуры в указанном диапазоне. Это зависит от содержания хрома. Содержание хрома в пределах 2,5-3,0% обеспечивает высокую износостойкость стали при нагреве поверхностных слоев рабочих органов. Благоприятное влияние хрома на теплостойкость стали объясняется его способностью задерживать распад мартенсита при нагреве. Однако увеличение содержания хрома до 5-6% приводит к резкому охрупчиванию стали.

Разработана и испытана хромоникелевая сталь, обладающая теплостойкостью до 500-550 °С. В качестве основных легирующих элементов использовались хром, никель, марганец, кремний и ванадий [5].

Для поддержания ударной вязкости стали на требуемом уровне в сталь вводят никель, который повышает пластичность и ударную вязкость и одновременно снижает порог хладноломкости, что является немаловажным фактором при эксплуатации машин в районах Крайнего Севера.

Кремний (0,4-0,8%) и марганец (0,7-1,0%) в сочетании с хромом и никелем несколько увеличивают прокаливаемость, пластичность и прочность стали. Кремний, так же как и хром, способствует повышению теплостойкости стали. Повышение теплостойкости стали путем увеличения содержания в ней кремния более 1% оказалось не эффективным, так как при этом наблюдалось охрупчивание стали.

Ванадий (0,01-0,15%) обеспечивает измельчение зерна в процессе кристаллизации и сдерживает рост аустенитного зерна при нагреве под закалку.

Для обеспечения вязкости при положительных и отрицательных температурах содержание серы и фосфора в стали ограничивается 0,02%.

Разработан метод упрочнения поверхностей трения деталей с помощью электрофореза. На рабочие поверхности металлических деталей методом электрофореза наносят покрытия из карбида хрома или осаждают дисперсные частицы твердых сплавов (нагрев для спекания твердосплавного слоя нежелателен). Этот способ особенно пригоден для больших деталей, имеющих сложную конфигурацию. После нанесения первого защитного слоя толщиной 150 мкм необходим нагрев детали +1180 °С в вакууме. Повторением процесса можно довести толщину слоя до 500 мкм. Износостойкость деталей повышается в 6-7 раз.

Электрофорез является также наиболее простым, дешевым и эффективным способом борирования, применяемого для упрочнения электролизной обработкой в борной кислоте и нейтральных солях натрия.

Перспективным является метод повышения износостойкости с помощью лазерного облучения поверхностей. После лазерного облучения поверхностей трения снижаются коэффициент трения и энергоёмкость привода (на 10-15%). Износостойкость при этом повышается в 4-6 раз.

Применение лазера для упрочнения резко повышает микротвёрдость покрытий. При этом не нарушается внутренняя структура, а износостойкость увеличивается почти в 10 раз.

Выводы. Повышение износостойкости и долговечности рабочих органов дорожно-строительной и подъёмно-транспортной техники можно достичь за счёт уменьшения давления на их поверхности, частоты изменения этого давления, подбора рациональной структуры материала, технологического обеспечения постоянства свойств на все время их работы.

Повысить износостойкость рабочих органов можно, используя материалы с требуемыми свойствами. Увеличение износостойкости может быть обеспечено технологическими и конструкторскими мероприятиями.

Л и т е р а т у р а

1. Гаврилов К. Л. Дорожно-строительные машины иностранного и отечественного производства: устройство, диагностика и ремонт / К. Л. Гаврилов, Н. А. Забара. – М.: Майор, Издатель А. И. Осипенко, 2011. – 480 с.
2. Кос И. И. Основы надежности дорожных машин: учебное пособие / И. И. Кос, В. А. Зорин. – М.: Машиностроение, 2015. – 166 с.
3. Кравченко И. Н. Повышение эксплуатационной надежности быстроизнашивающихся деталей рабочих органов строительных и сельскохозяйственных машин / И. Н. Кравченко, Ю. А. Батов // Вестник МГАУ. Технический сервис в АПК. – М.: МГАУ, 2003. – С. 32-36.
4. Рейш А. К. Повышение износостойкости строительных и дорожных машин / А. К. Рейш. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
5. Старостина Ж. А. Вопросы повышения надежности дорожных и строительных машин / Ж. А. Старостина // Наука, техника и образование. – Иваново: Олимп, 2015, № 8 (14). – С. 29-31.
6. Ткачев В. Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания / В. Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 1995. – 330 с.
7. Шестопалов К. К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование / К. К. Шестопалов. – М.: Образовательно-издательский центр «Академия», 2012. – 320 с.

R e f e r e n c e s

1. Gavrilov K. L. Road construction machines of foreign and domestic production: device, diagnostics and repair / K. L. Gavrilov, N. A. Zabara. – M.: Major, Publisher A. I. Osipenko, 2011. – 480 p.
2. Kos I. I. Fundamentals of reliability of road vehicles: textbook / I. I. Kos, V. A. Zorin. – M.: Mashinostroenie, 2015. – 166 p.

3. Kravchenko I. N. Improving the operational reliability of wear-out parts of working bodies of construction and agricultural machines / I. N. Kravchenko, Yu. A. Batov // Vestnik MGAU. Technical service in the agro-industrial complex. – M.: MGAU, 2003. – P. 32-36.

4. Reish A. K. Increasing the wear resistance of construction and road and machinery / A. K. Reish. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 184 p.

5. Starostina J. A. The questions of increase of reliability of road and construction machinery / J. A. Starostina // Science, technology and education. – Ivanovo: Olymp, 2015, № 8 (14). – P. 29-31.

6. Tkachev V. N. The function of the components of machines in terms of abrasive wear / V. N. Tkachev. – M.: Mashinostroenie, 1995. – 330 p.

7. Shestopalov K. K. Lifting and transport, construction and road machinery and equipment / K. K. Shestopalov. – M.: Educational and publishing center «Academy», 2012. – 320 p.

Shovkoplias A.V.

THE MAIN DIRECTIONS OF INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF THE WORKING BODIES OF ROAD CONSTRUCTION AND LIFTING AND TRANSPORT MACHINES

The main directions of increasing the durability and wear resistance of the working bodies of road construction and lifting and transport equipment are to reduce the pressure on the friction surface of the parts; reduce the pressure on the working surfaces and the frequency of its changes; the selection of a rational structure of materials; technological ensuring the constancy of properties for the entire time of operation and under various operating conditions.

The use of composite teeth consisting of a base and a replaceable crown is one of the ways to increase their wear resistance. The tooth crown is made of alloyed chromium-nickel-molybdenum steel and has increased strength.

To increase the wear resistance of the working bodies of road construction and lifting and transport equipment, various technological and structural measures can be used or a combination of them: strengthening of their surfaces through the use of, for example, electrophoresis, thermomechanical processing, strengthening by boron and laser treatment, the use of chromium, nickel and vanadium-alloyed steels with a carbon content of 0.23-0.28%, changing the design and profile of the working planes of cast teeth in order to reduce the massiveness of their individual sections.

Key words: wear, wear resistance, working body, surfacing, alloying, hardening, pressure.

Шовкопляс Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортная техника» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: silkdance@yandex.ru

Shovkoplias Aleksandr, Candidate of Sciences (Eng.), associate professor of the Chair «Lifting and transport equipment», State Educational Establishment of Higher Education of the LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Автомобильный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 27.04.2021

УДК 338.984

РАЗРАБОТКА АНТИКРИЗИСНОЙ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Денисенко И.А., Пономарёв А.А.

DEVELOPMENT OF THE COMPANY'S ANTI-CRISIS STRATEGY

Denisenko I.A., Ponomarev A.A.

В статье рассмотрены основные вопросы, влияющие на нестабильную деятельность многих предприятий под воздействием внешних факторов. Определена современная роль и место предприятия в экономической системе государства на макроуровне. Выявлены основные проблемы и определены задачи, решение которых способно повысить эффективность функционирования предприятия за счет разработки антикризисной стратегии предприятия. Авторами детально проведен анализ допустимых алгоритмов разработки антикризисной стратегии, на базе которого предложено внедрение в практику предпринимательской деятельности, в современных условиях хозяйствования, авторский алгоритм разработки антикризисной стратегии предприятия. Особенностью авторского алгоритма, в отличие от уже известных, является возможность ранней диагностики зарождающегося кризиса на предприятии и, как следствие, появляющейся возможности его блокирования и управлением недопущением его дальнейшего губительного развития.

Ключевые слова: стратегия предприятия, кризис, экономический кризис, менеджмент, управленческий персонал, предприятие, рыночная конъюнктура, экономическая безопасность, эффективность управления, алгоритм разработки, потенциал, антикризисная стратегия.

Введение. Сегодня деятельность предприятий осуществляется в условиях динамической конкурентной среды, сложной рыночной конъюнктуры, асимметричного информационного пространства и циклического развития экономики.

Результативность деятельности каждого отдельного предприятия отражает актуальные тенденции и процессы, происходящие на макроэкономическом уровне. При этом именно предприятия как наиболее продуктивное структурное звено хозяйственного механизма государства производят значительную долю товаров, предоставляют различные услуги, осуществляют научно-исследовательскую и инновационную деятельность, создают конкурентоспособный потенциал страны. Можно уверенно утверждать, что действующие предприятия являются центральным звеном экономической системы любого государства, которая имеет непосредственное влияние на ее

стабильность и социально-экономические достижения. В этой связи важной задачей эффективного функционирования предприятий является разработка антикризисной стратегии предприятия, что является рычагом обеспечения их безопасности. Особенно данный фактор актуализируется в условиях существования нестабильной и неопределенной бизнес-среды.

Изложение основного материала. За последние пять последних лет вопросами разработки антикризисной стратегии предприятия занимались такие учёные-исследователи: О.Е. Бехтина, О.Г. Блажевич А.Д. Бурыкин, Г.И. Вагазова, А.А. Павлова, А.Х. Шагиева, В.В. Шальнева, А.Ш. Ширинов и другие. Однако несмотря на их весомый вклад в научную мысль, существует объективная потребность разработки более совершенного и полного алгоритма разработки антикризисной стратегии предприятия.

Целью исследования является разработка и совершенствование алгоритма разработки антикризисной стратегии предприятия.

Исходя из цели исследования, основными задачами будут являться:

- определение понятия «антикризисное управление предприятием»;
- определение понятия «антикризисная стратегия предприятия»;
- формирование алгоритма разработки антикризисной стратегии предприятия.

Рыночная трансформация экономики, глубокие социально-экономические преобразования, наличие разнообразных рисков и угроз актуализировали проблему стратегического антикризисного управления предприятиями. Негативное влияние факторов внешней среды и внутренние недостатки в деятельности предприятий могут спровоцировать возникновение ситуации, при которой традиционные методы управления являются недостаточно эффективными. Поэтому возникает необходимость поиска и использования стратегически новых инструментов управленческого воздействия, обеспечивающие быстрое и качественное решение кризисных ситуаций, опираясь при этом на имеющийся внутренний

резерв. В современных условиях сложных трансформационных изменений в экономике, несмотря на ряд позитивных тенденций, наблюдается значительный рост количества предприятий, находящихся на грани банкротства и потери платежеспособности. Данная ситуация обусловлена тем, что субъекты хозяйственной деятельности постоянно находятся под влиянием факторов внешней и внутренней среды, приводящие их к финансовой нестабильности и кризисным ситуациям [1, 3, 4, 5]. Поэтому значительно актуализируются вопросы реализации эффективного антикризисного управления, которое будет иметь целью реализацию мероприятий, направленных на диагностику, преодоление кризиса и недопущения ее повторения в будущем. В научно-экономической литературе сущность антикризисного управления рассматривается как система управления предприятием, которая имеет комплексный, системный характер и направлена на предупреждение или устранение неблагоприятных для бизнеса явлений вследствие использования всего потенциала современного менеджмента, разработки и реализации на предприятии специальных стратегических программ, позволяет обезвредить временные трудности, сохранить и приумножить рыночные позиции при любых обстоятельствах, опираясь преимущественно на собственные ресурсы.

Антикризисное управление предприятием как комплексная система управления предприятием отличается стратегическим характером и направлена на устранение возможных и имеющихся проблем деятельности путем разработки и реализации специальной программы с использованием всего потенциала современного менеджмента.

Успех предприятия в долгосрочной перспективе зависит от его стратегии развития, предполагает наличие антикризисной составляющей. В современных условиях хозяйствования любая стратегия должна быть в определенной степени антикризисной.

Решающее значение для эффективности антикризисных действий в процессе управления играет стратегия включающая в себя разработку мер финансового, организационного, технического, экономического и социального характера, направленных на вывод предприятия из критического состояния, его финансового оздоровления, повышения эффективности хозяйственной деятельности и конкурентоспособности в современных рыночных условиях [1, 2, 3, 4, 5].

Заметим, что стратегия антикризисного управления предприятием – это совокупность действий и последовательность принимаемых управленческих решений, позволяющих оценить, проанализировать и выработать необходимую систему воздействия на оздоровление предприятия с

целью предотвращения его банкротства или минимизации последствий кризиса.

Стратегия антикризисного управления должна рассматриваться как парадигма обеспечения функционирования предприятия в долгосрочной перспективе, при этом ее целью может быть выживание, обеспечение конкурентоспособности, удовлетворение потребностей и вкусов потребителей, оптимальное использование своих сильных сторон, эффективное управление ключевыми компетенциями предприятия для достижения преимуществ над конкурентами, поиск возможностей выхода на новые рынки и освоение эффективными инструментами успешного ведения бизнеса и т.д.

Предлагаем определить стратегию антикризисного управления предприятием как комплексный долгосрочный план действий по недопущению кризисных ситуаций и реализаций диагностики состояния предприятия и его отдельных подсистем, направленный на внедрение возможных защитных процедур от негативного воздействия внешней среды.

Стоит отметить, что среди основных преимуществ практического применения стратегического антикризисного управления является возможность использовать экстренные и действенные механизмы, позволяющие адаптировать внутреннюю среду предприятия и обеспечить его взаимодействие с составными внешней среды, используя при этом заранее разработанные антикризисные меры.

Также весомым преимуществом антикризисного стратегического управления является оперативность принятия управленческих решений в критических ситуациях. Таким образом, эффективность стратегии антикризисного управления зависит от формирования действенной системы, позволяющей руководству осуществлять количественный и качественный анализ угроз, которые могут спровоцировать отключение кризисной ситуации.

Итак, от способности предприятия оперативно и эффективно нейтрализовать угрозы будет зависеть уровень безопасности предприятия и устойчивость его функционирования в условиях неопределенности. В связи с этим считаем, что экономическую сущность антикризисного управления следует рассматривать на основе рассмотрения алгоритма разработки антикризисной стратегии и определения характерных его этапов в условиях современности.

Стоит отметить, что в экономической литературе уделено значительное внимание разработке антикризисной стратегии предприятия, актуальность которой заключается в систематизации значительного массива информации по данной проблематике. Это привело к созданию ряда алгоритмов разработки антикризисной стратегии

предприятия, общей чертой которых является выделение определённых его этапов.

В табл. 1 представлен анализ алгоритмов разработки антикризисной стратегии предприятия в научной литературе.

Таблица 1

Алгоритмы разработки антикризисной стратегии предприятия в научной литературе

Этап	О.Е. Бехтина [1]	А.Д. Бурыкин [2]	А.Ш. Широков [5]	А. Х. Шагиева, Г. И. Вагазова, А. А. Павлова [3]	В.В. Шальнева, О.Г. Блажевич [4]	Итого
Создание и регламентация деятельности антикризисной рабочей группы				+		1
Определение основной цели предприятия		+				1
Построение дерева целей		+				1
Критериальная оценка эффективности выбранных целей антикризисной стратегии управления		+				1
Диагностика внешних факторов	+		+	+	+	4
Комплексный анализ внутренней среды организации	+		+	+	+	4
Комплексный анализ и оценка финансово-экономического состояния предприятия					+	1
Оценка потенциала рынка и устойчивости предприятия на рынке /Анализ конкурентных преимуществ				+	+	2
Пересмотр миссии и системы целей организации / Корректировка стратегических и тактических целей развития предприятия / Стратегическая реструктуризация бизнеса	+			+	+	3
Диагностика причин возникновения рисков ситуаций					+	1
Анализ существующих антикризисных стратегий и выбор альтернативного варианта / Выбор способа достижения целей	+	+				2
Генерирование и сравнительный анализ стратегических альтернатив				+		1
Оценка рисков реализации альтернативных антикризисных стратегий и анализ их ресурсного обеспечения				+		1
Выбор и согласование антикризисной стратегии				+		1
Определение механизмов и методов оздоровления предприятия					+	1
Разработка плана (программы) антикризисных мер (долгосрочных, среднесрочных, краткосрочных)				+		1
Разработка организационно-экономической модели функционирования предприятия, реализующая достижение целей		+	+			2
Разработка плана (программы) антикризисных мер (долгосрочных, среднесрочных, краткосрочных) / Разработка механизмов и процедур вывода предприятия из состояния кризиса				+	+	2
Контроль и реинжиниринг ключевых бизнес-процессов, влияющих на эффективность антикризисной стратегии				+	+	2
Определение методики оценки эффективности достижения целей, с определением критериальных показателей		+		+		2
Реализация и оценка антикризисной стратегии	+					1
Реализация мероприятий на основе построенной организационно-экономической модели		+	+			2
Оценка эффективности реализации мероприятий		+	+			2
Итого	5	8	5	12	9	

Как мы видим, больше всего этапов представлено этапов в алгоритме коллектива авторов: А.Х.Шагиева, Г.И. Вагазова и А.А. Павлова [3]. Количество этапов составляет двенадцать. В отличие от других алгоритмов, в данном присутствует такой важный момент, как «Создание и регламентация деятельности антикризисной рабочей группы». Также, в отличие от алгоритмов О.Е. Бехтина [1] и А.Д. Бурыкин [2], такой этап, как «Анализ существующих антикризисных стратегий и выбор альтернативного варианта «Выбор способа достижения целей» разбит на несколько этапов, а именно: «Генерирование и сравнительный анализ стратегических альтернатив», «Оценка рисков реализации альтернативных антикризисных стратегий и анализ их ресурсного обеспечения», «Выбор и согласование антикризисной стратегии».

Считаем, что данные предлагаемые этапы являются составной частью этапа «Анализ существующих антикризисных стратегий и выбор альтернативного варианта» [1, 2].

Ещё одним этапом, заслуживающим внимание, является этап «Реализация и оценка антикризисной стратегии», предложенный О.Е. Бехтиной [1]. В алгоритмах А.Д. Бурыкина [2] и А.Ш. Ширинова [5] данный этап разбит на два этапа, таких как: «Реализация мероприятий на основе построенной организационно-экономической модели» и «Оценка эффективности реализации мероприятий». Считаем, что в данном случае более логична точка зрения А.Д. Бурыкина [2] и А.Ш. Ширинова [5].

Как видно из таблицы, самыми распространёнными этапами являются «Диагностика внешних факторов», «Комплексный анализ внутренней среды организации», он встречается у всех авторов, кроме А.Д. Бурыкина [2].

Вторым самым встречаемым этапом является «Пересмотр миссии и системы целей организации». Его нет только в алгоритмах А.Д. Бурыкина [2] и А.Ш. Ширинова [5].

Таким образом, наиболее полным является алгоритм, предложенный А.Х. Шагиевой, Г.И. Вагазовой, А.А. Павловой [3], однако в нём тоже не хватает некоторых этапов.

Учитывая то, что предложенные другими авторами этапы тоже имеют место быть и являются актуальными на настоящий момент, используя метод научного познания «синтез», а также на базе проанализированных алгоритмов нами разработан

авторский алгоритм разработки антикризисной стратегии предприятия, представленный на рис. 1.

Как мы видим, авторский алгоритм насчитывает девятнадцать этапов.

Результаты исследований. Реализация стратегии антикризисного развития позволяет диагностировать, а соответственно, и предотвращать зарождение кризиса задолго до того, как первопричины негативно повлияют на состояние предприятия, и оно перейдет в фазу финансово-экономического кризиса, будет лишь следствием организационно-структурного кризиса, а не его первопричиной.

Не может быть стратегии, пригодной для всех предприятий, как не существует единого универсального стратегического антикризисного управления. Каждое предприятие является уникальным, поэтому и процесс формирования стратегии для него индивидуальный и зависит от позиции предприятия на рынке, динамики его развития и потенциала, поведения конкурентов, характеристик изготовленной продукции (оказания услуг), состояния экономики, предпринимательской среды и многих других факторов. Но есть некоторые основные моменты, позволяющие говорить об общих принципах антикризисной стратегии, что чрезвычайно важно в условиях экономического кризиса.

Предложенный алгоритм разработки антикризисной стратегии как базовая концепция реализации стратегического антикризисного управления предприятием является инструментом, использование которого позволяет решать основные задачи антикризисного управления.

На основании проведённого исследования мы можем сказать следующее. В ходе исследования нами изучены часто встречаемые алгоритмы разработки антикризисной стратегии предприятия в научной литературе за последние пять лет.

Выводы. Разработанный нами, в процессе научного исследования, алгоритм, базирующийся на девятнадцати этапах, которые мы встречаем в специализированной научной литературе, даст возможность специалистам-практикам создать индивидуальный стратегический набор, выбрать необходимые в тот или иной момент направления, способы, методы и инструменты обеспечения стабильности функционирования и существования предприятия в сложных условиях хозяйствования и неопределённости.



Рис. 1. Авторский алгоритм классификация рисков и угроз в области экономической безопасности предприятия

Л и т е р а т у р а

1. Бехтина О.Е. Антикризисная стратегия: особенности разработки и реализации / О.Е. Бехтина // ВЕСТНИК ВОЛЖСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. В.Н. ТАТИЩЕВА. Т. 2. № 2. 2017. – С. 31-35.

2. Буркин А.Д. Алгоритм разработки и реализации антикризисной стратегии предприятия / А.Д. Буркин // Вестник научных конференций. ООО «Консалтинговая компания Юком» (Тамбов). 2017. № 9-3 (25). – С. 38-40.

3. Шагиева А.Х. Разработка модели оптимизации антикризисного управления в промышленном птицеводстве с использованием маркетинговых технологий / А.Х. Шагиева, Г.И. Вагазова, А.А. Павлова // ВЕСТНИК КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА Т.: 15. № 1 (57). 2020. – С. 130-136.

4. Шальнева В.В., Блажевич О.Г. Система антикризисного финансового управления предприятием // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2020. №1 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-antikrizisnogo-finansovogo-upravleniya-predpriyatiem> (дата обращения: 11.05.2021).

5. Ширинов А.Ш. Алгоритм управления изменениями в условиях инновационно-ориентированной экономики / А.Ш. Ширинов // Казанский экономический вестник. Казанский (Приволжский) федеральный университет (Казань). 2018. № 4 (36). – С. 63-71.

R e f e r e n c e s

1. Bekhtina O.E. Anti-crisis strategy: features of development and implementation / O. E. Bekhtina // VESTNIK VOLZHSKOGO UNIVERSITETA IM. V. N. TATISHCHEVA. Vol. 2. NO. 2. 2017. P. 31-35.

2. Burykin A.D. Algorithm of development and implementation of the anti-crisis strategy of the enterprise / A.D. Burykin // Bulletin of scientific conferences. LLC "Consulting company Ucom" (Tambov). 2017. No. 9-3 (25). P. 38-40.

3. Shagieva A. H. Development of an optimization model of crisis management in the poultry industry, using marketing technologies / A. H. Shagieva, G. I. Vaganova, A. A. Pavlov // VESTNIK of KAZAN STATE AGRARIAN UNIVERSITY, Etc: 15. № 1 (57). 2020. P. 130-136.

4. Shalneva V. V. Blazhevich O. G. the System of anti-crisis financial management of the enterprise // Scientific Bulletin: Finance, banks, and investments. 2020. No. 1 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-antikrizisnogo-finansovogo-upravleniya-predpriyatiem> (accessed: 11.05.2021).

5. Shirinov A. Sh. Algorithm for managing changes in the conditions of an innovation-oriented economy / A. Sh. Shirinov // Kazan Economic Bulletin. Kazan (Volga Region) Federal University (Kazan). 2018. No. 4 (36) P. 63-71.

Denisenko I.A., Ponomarev A.A.

DEVELOPMENT OF THE COMPANY'S ANTI-CRISIS STRATEGY

The article deals with the main issues affecting the unstable activities of many enterprises under the influence of external factors. The modern role and place of the enterprise in the economic system of the state at the macro level is determined. The main problems are identified and the tasks are identified, the solution of which can increase the efficiency of the enterprise by developing an anti-crisis strategy of the enterprise. The authors conducted a detailed analysis of acceptable algorithms for developing an anti-crisis strategy, on the basis of which they proposed the implementation of the author's algorithm for developing an anti-crisis strategy of an enterprise in the practice of entrepreneurial activity, in modern economic conditions. A special feature of the author's algorithm, in contrast to the already known ones, is the possibility of early diagnosis of the emerging crisis in the enterprise and, as a result, the emerging possibility of blocking it and managing to prevent its further disastrous development.

Key words: enterprise strategy, crisis, economic crisis, management, management personnel, enterprise, market situation, economic security, management efficiency, development algorithm, potential, anti-crisis strategy.

Денисенко Игорь Анатольевич, доктор экономических наук, профессор, профессор, профессор кафедры «Торговое дело» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: luganskigor@mail.ru

Denisenko Igor Anatolievich, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department «Trading business» State Educational Establishment of Higher Education of the LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Пономарёв Андрей Алексеевич, старший преподаватель кафедры «Торговое дело» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: dofes@list.ru

Ponomarev Andrey Alekseevich, senior lecturer of the Department «Trading business». State Educational Establishment of Higher Education of the LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Гончаров Валентин Николаевич, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики предприятий и управления трудовыми ресурсами ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный аграрный университет».

Статья подана: 04.06.2021

ТРЕБОВАНИЯ

к оформлению статей для публикации в
**«ВЕСТНИК ЛУГАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»**
ГОУ ВО ЛНР «Луганского государственного 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:

АВТОРЫ, которые не являются сотрудниками университета:

1. Рецензия (подписанная проф. или чл.ред.кол)
2. 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).
3. Заявка автора(ов)
4. Анкета автора(ов)
5. Проверка на антиплагиат (распечатка)
<https://xn----7sbbaar5acc1ard1a0beh.xn--plai/spravka-antiplagiat>
<https://text.ru/antiplagiat>
<https://content-watch.ru/text/>
<https://advego.com/antiplagiat/>

ДЛЯ СОТРУДНИКОВ УНИВЕРСИТЕТА:

1. Рецензия (подписанная проф. или чл.ред.кол)
2. Заявка автора(ов)
3. Анкета автора(ов)
4. Проверка на антиплагиат (распечатка)
<https://xn----7sbbaar5acc1ard1a0beh.xn--plai/spravka-antiplagiat>
<https://text.ru/antiplagiat>
<https://content-watch.ru/text/>
<https://advego.com/antiplagiat/>

– электронный вариант статьи (первая фамилия автора статьи):

Название файла статьи: <фамилия автора_город> например – Петров_Луганск.doc.
Название английского файла Petrov_Lugansk.doc.
Статья сохраняется в форматах *.doc, *.docx, *.rtf.

– рецензия *.doc, *.docx.

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 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, **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).

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*

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 для сотрудников****ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».****State Educational Establishment of Higher Training of the Lugansk People's Republic "Lugansk Vladimir Dahl State University".****2. E-mail ОБЯЗАТЕЛЬНО** (если свою автор не указывает, то почту кафедры).**3. В сведениях об авторах статьи ФИО. указывать ПОЛНОСТЬЮ (на русском и английском языках).****4. Рецензент ФИО полностью ТОЛЬКО профессор или член ред. коллегии сборника (полное название места работы рецензента).****5. Распечатка на антиплагиат.**

Научный журнал

«ВЕСТНИК ЛУГАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

№ 6 (48) 2021

Оригинал-макет

Коломиец-Кириллова Е.А.

Подписано к печати 7.09.2021
Формат 60х84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Условных печатных стр. 43,71. Тираж 100 экз. Изд. № 01230.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Луганского государственного 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://izdat.dahluniver.ru/>