

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

В Е С Т Н И К

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

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

**№ 7 (73)
2023**

Луганск 2023

ВЕСТНИК

ЛУГАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

№ 7 (73) 2023

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ОСНОВАН В 2015 ГОДУ
ВХОДИТ В БАЗУ
РИНЦ

ОСНОВАТЕЛЬ

ФГБОУ ВО

«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,
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,
Шелото 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 4.10.2022 г.)

Материалы номера печатаются на языке оригинала.

VESTNIK

LUGANSK
VLADIMIR DAHL
STATE UNIVERSITY

№ 7 (73) 2023

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

FOUNDER

LSU NAMED AFTER V. DAHL

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

С О Д Е Р Ж А Н И Е

СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ САЛОНА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТЕПЛОВЕНТИЛЯТОРА <i>Ажиппо А. Г., Егоров Ю. Ю.</i> -----	9
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ВО ВПУСКНОМ ТРУБОПРОВОДЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ <i>Ажиппо А. Г., Кадыкова И. В., Караваяев А. А.</i> -----	13
АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА <i>Ажиппо А. Г., Трефилов И. А.</i> -----	18
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО И ДРУГИХ ВИДОВ СПЕЦИАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ <i>Андреев А. А., Сингеев А. В., Будиков Л. Я, Захарчук А. С.</i> -----	21
НОВАЯ РАБОЧАЯ ЖИДКОСТЬ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ <i>Антипов И. В., Коструб В. А.</i> -----	26
КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЯ С КАСКАДНЫМ СЖАТИЕМ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ <i>Данилейченко А. А., Брянецев М. А., Доценко Д. М.</i> -----	29
ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ НА ПРИМЕРЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ пр.БАКЛАНОВСКОГО И пер.МАГНИТНОГО г.НОВОЧЕРКАССКА <i>Ефимов А. Д., Бессарабов А. Н., Демьян Е.Р.</i> -----	35
ПРИБОРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ НА СОУДАРЕНИЕ ТЕПЛОВОЗА <i>Киреев А. Н., Дмитриенко А. Б., Атрошенко Д. В.</i> -----	40
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАТУХАНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ <i>Киреев А. Н., Киреева М. А., Гладков А. Р.</i> -----	43
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ВИРТУАЛИЗАЦИИ <i>Киркин А. П., Киркина Т. Ю.</i> -----	48
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УДАРОВ <i>Климчук А. С.</i> -----	52
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ <i>Коструб В. А., Антипов И. В., Вербская Л. М.</i> -----	56
АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ВО ВРЕМЯ ПУСКА МОСТОВОГО КРАНА <i>Коструб В. А., Мирошников А. А., Рекиян П. Н.</i> -----	59
ВЫБОР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРОДУКЦИИ <i>Коструб О. М., Собко В. А., Иванова Е. И., Тасанг Э. Х., Клюев А. С.</i> -----	63
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЗА ПРИ ПЛАВНОМ ТИРИСТОРНО-ИМПУЛЬСНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ <i>Куценко В. В., Потеряхин М. В., Внучков В. В., Гречишкин В. А., Головчанский А. И.</i> -----	66

СХЕМА СОГЛАСОВАНИЯ ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТОВ СТЕНОК ЦИЛИНДРОВ НА ТРАНСПОРТЕ	
<i>Ливцов Ю. В., Киреев А. Н., Безкоровайный В. С.</i>	71
МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОЙ ЦИФРОВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ГОРОДСКОМ ПАССАЖИРСКОМ ТРАНСПОРТЕ	
<i>Лучко М. И., Будиков Л. Я., Захарчук А. С.</i>	74
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ	
<i>Нечаев Г. И., Киричевский А. Р.</i>	80
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КАРАВАНИНГА КАК РАЗНОВИДНОСТИ АВТОТУРИЗМА В ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ	
<i>Нечаев Г. И., Рябичев В. Д., Соколовская Е. А., Соколовский А. Я.</i>	85
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ШНЕКОВОЙ СИСТЕМЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ БЫТОВЫХ ЦЕЛЕЙ	
<i>Нечаев Г. И., Чижевская Д. Ю., Никитин Ю. Н.</i>	91
МОДЕЛЬ РАСЧЁТА МНОГОСЛОЙНЫХ ВАЛОВ	
<i>Овилко А. М., Литвинов А. В., Токменцов В. А., Ульченко В. Д., Руденко Е. П.</i>	96
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ	
<i>Рябичев В. Д., Ленич С. В.</i>	101
ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТОРМОЗОВ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ НА БАЗЕ АЦП	
<i>Самойлова И. С., Мирошников А. А.</i>	106
ВЫБОР ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ БЕНЗИНОВЫХ ДВС	
<i>Сметана С. А., Сидорченко А. В.</i>	110
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ФАКТОРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК ВПРЫСКА БЕНЗИНА НА ИЗМЕНЕНИЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	
<i>Сметана С. А., Сидорченко А. В., Бойко В. В.</i>	115
УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КАСКАДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	
<i>Тарарычкин И. А., Анисимов В. Н.</i>	119
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭКИПАЖНОЙ ЧАСТИ ЛОКОМОТИВОВ	
<i>Тасанг Э. Х., Быкадоров В. В., Воронов О. В., Ключев А. С., Коструб О. М.</i>	124
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЛОКОМОТИВА С СОСТАВОМ	
<i>Тасанг Э. Х., Ключев А. С., Иванова Е. И., Мокишина О. В., Собко В. А.</i>	128
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОГО УСТРОЙСТВА В ЗОНЕ ХРАНЕНИЯ СТЕЛЛАЖНОГО СКЛАДА	
<i>Турушин В. А., Мирошников В. В., Турушина Н. В.</i>	134
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ШАРНИРОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ И ПОГРУЗЧИКОВ	
<i>Шовкопляс А. В.</i>	137

ДРУГИЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУКИ

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРЕИМУЩЕСТВ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР В ШПИНДЕЛЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН <i>Брешев В. Е.</i> -----	141
СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ РАБОЧИХ КАДРОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ (ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ ГОУ СПО ЛНР «ЛУГАНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ») <i>Димитриев А. С.</i> -----	146
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТРУДОВОГО ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ КАК ФАКТОРЫ КАЧЕСТВЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ <i>Димитриева О. А.</i> -----	149
СПОРТИВНАЯ ВЫНОСЛИВОСТЬ И ЕЁ РАЗВИТИЕ <i>Карпов А. А.</i> -----	152
РАЗВИТИЕ ЛИЧНОСТИ КАК ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА <i>Кузь Е. В.</i> -----	156
ЧИСТОВАЯ ОБРАБОТКА ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС <i>Мельникова Е. П., Покинтелица Н. И.</i> -----	159
АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ВЫЗВАННЫХ ХОЛОСТЫМ ХОДОМ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ С СОЧЕТАНИЕМ НАПРЯЖЕНИЙ 10(6)/0,4КВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ, МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЕЕ ЧЕРЕЗ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ И ПЕРЕВОДА ИХ НА КЛАССЫ НАПРЯЖЕНИЯ: 10; 15; 20; 27,5 И 35 КВ <i>Парсентьев О. С.</i> -----	163
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТАКСИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРЕДЛОЖЕНИЙ <i>Ромашова О. Н., Чигрина А. Н.</i> -----	182
ЛИТЕЙНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЛИГНИНА <i>Свиногоев Ю. А., Гутько Ю. И.</i> -----	185

CONTENTS

HEATING SYSTEM SALON OF THE VEHICLE WITH THE USE OF CENTRIFUGAL HEAT GENERATOR9	
Azhippo A.G, Egorov Y.Y.-----	9
THEORETICAL INVESTIGATIONS OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN THE INTAKE PIPELINE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE	
Azhippo A.G, Kadykova I.V., Karavaev A.A.-----	13
AERODYNAMIC RESISTANCE OF THE COOLING UNIT	
Azhippo A.G., Trefilov I.A. -----	18
IMPROVING INTERACTION AND INCREASING THE EFFICIENCY OF RAILWAY AND OTHER TYPES OF SPECIAL TRANSPORT IN EMERGENCY SITUATIONS	
Andreev A.A., Singeev A.V., Budikov L. Ya, Zakharchuk A. S.-----	21
NEW WORKING FLUID FOR MECHANIZED SUPPORT	
Antipov I.V., Kostrub V.A.-----	26
DESIGN FEATURES OF THE ENGINE WITH CASCADE COMPRESSION OF THE WORKING ENVIRONMENT	
Danileychenko A.A., Bryantsev M.A., Dotsenko D.M. -----	29
ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF SIMULATION MODELLING OF TRAFFIC FLOWS WHEN USING DIFFERENT COMPUTER PROGRAMS ON THE EXAMPLE OF INTERSECTION OF BAKLANOVSKY AVENUE AND MAGNETIC LANE OF NOVOCHERKASSK.	
Efimov A. D., Bessarabov A. N., Demyan E.R.-----	35
INSTRUMENTATION FOR LOCOMOTIVE COLLISION TESTS	
Kireev A.N., Dmitrienko A.B., Atroshenko D.V.-----	40
METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF ULTRASOUND ATTENUATION IN POLYCRYSTALLINE MATERIALS	
Kireev A.N., Kireeva M.A., Gladkov A.R.-----	43
IMPROVING THE RELIABILITY OF THE FUNCTIONING OF HANDLING SYSTEMS USING VIRTUALIZATION METHODS	
Kirkin A.P., Kirkina T.Y. -----	48
IMPROVEMENT OF PROTECTION SYSTEM OF CLIMBING CRANES FROM HORIZONTAL BLOWS	
Klimchuk A.S. -----	52
PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS IN THE STRUCTURES OF ROAD-BUILDING AND LIFTING-TRANSPORT EQUIPMENT	
Kostrub V.A., Antipov I.V., Verbskaya L.M.-----	56
DYNAMIC LOAD ANALYSIS DURING STARTING AN OVERHEAD CRANE	
Kostrub V.A., Miroshnikov A.A., Rekiyan P.N. -----	59

SELECTION AND DEFINITION OF THE NOMENCLATURE OF QUALITY INDICATORS THAT ENSURE THE COMPETITIVENESS OF PRODUCTS Kostrub O.M., Sobko V.A., Ivanova E.I., Tasang E.H., Kluev A.S. -----	63
CHARACTERISTICS OF THE LOCOMOTIVE AT SMOOTH THYRISTOR AND PULSE REGULATION OF EXCITEMENT OF TRACTION ELECTRIC MOTORS Kutsenko V.V., Poteryahin M.V., Vnuchkov V.V., Grechishkin V.A., Golovchansky A.I.-----	66
THE SCHEME OF COORDINATION OF THE CYLINDER WALL DEFECT MONITORING SENSOR IN TRANSPORT Livtsov Yu. V., Kireev A. N., Bezkorovainiy V. S. -----	71
MODEL OF BUILDING A UNIFIED DIGITAL TRANSPORT SYSTEM ON URBAN PASSENGER TRANSPORT Luchko M.I., Budikov L. Ya, Zakharchuk A. S. -----	74
SOME QUESTIONS IN THE PREPARATION OF TECHNICAL CONDITIONS FOR CARGO TRANSPORTATION Nechayev G.I., Kirichevsky A.R. -----	80
PROBLEMS AND PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT OF CARAVANING AS A VARIETY OF CAR TOURISM IN THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC Nechayev G.I., Ryabichev V.D., Sokolovskaya E.A., Sokolovsky A.Y. -----	85
ANALYSIS OF THE POSSIBLE APPLICATION OF THE TRANSPORT SCREW SYSTEM IN THE ENERGY COMPLEX FOR THE PRODUCTION OF THERMAL AND ELECTRICAL ENERGY FOR HOUSEHOLD PURPOSES Nechayev G. I., Chizhevskaya D. Yu., Nikitin Yu. N.-----	91
CALCULATION MODEL FOR MULTILAYER SHAFTS Ovilko A.M., Litvinov A.V., Tokmentsov V.A., Ulchenko V.D., Rudenko E.P.-----	96
METHODS OF CONDUCTING EXPERIMENTS IN A PNEUMATIC TRANSPORT MILL Ryabichev V.D., Lenich S.V. -----	101
LABORATORY BENCH FOR BRAKE TESTING LIFTING MACHINES WITH MEASURING COMPLEX BASED ON AN ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER Samoilova I.S., Miroshnikov A.A. -----	106
SELECTION OF DIAGNOSTIC PARAMETERS AND DIAGNOSTIC MODES FOR ELECTRIC FUEL PUMPS OF GASOLINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES Smetana S.A., Sidorchenko A.V.-----	110
STUDY OF THE INFLUENCE OF DESIGN AND MODE FACTORS OF ELECTROMAGNETIC PETROL INJECTOR TO CHANGE THEM PERFORMANCE CHARACTERISTICS Smetana S.A., Sidorchenko A.V., Boyko V.V.-----	115
CONDITIONS OF OCCURRENCE AND DEVELOPMENT FEATURES OF CASCADE PROCESSES IN TECHNICAL SYSTEMS Tararychkin I.A., Anisimov V.N. -----	119
SIMULATION OF DYNAMIC PROCESSES OF THE CREW LOCOMOTIVE PARTS Tasang E.H., Bykadorov V.V., Voronov O.V., Klyuev A.S., Kostrub O.M. -----	124

MATHEMATICAL MODEL OF LOCOMOTIVE MOTION WITH COMPOSITION Tasang E.H., Klyuev A.S., Ivanova E.I., Mokshina O.V., Sobko V.A.-----	128
METHODOLOGY FOR CALCULATING THE MAIN PARAMETERS PNEUMATIC TRANSPORT DEVICE IN THE STORAGE AREA SHELVING WAREHOUSE Turusin V.A., Miroshnikov V.V., Turusina N.V.-----	134
WEAR RESISTANCE OF HINGES OF WORKING EQUIPMENT OF SINGLE-BUCKET EXCAVATORS AND LOADERS Shovkoplias A.V.-----	137
OTHER AREAS OF SCIENCE	
ANALYSIS OF THE TECHNICAL ADVANTAGES OF USING AEROSTATIC SUPPORTS IN THE SPINDLES OF TECHNOLOGICAL MACHINES Breshev V.E.-----	141
STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF TRAINING QUALIFIED WORKERS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION (FROM THE EXPERIENCE OF THE STATE EDUCATIONAL INSTITUTION OF THE LNR "LUGANSK TECHNOLOGICAL COLLEGE") Dimitriev A. S.-----	146
IMPROVING THE QUALITY OF LABOR TRAINING AND EDUCATION AS A FACTORS OF QUALITY EDUCATION IN THE SYSTEM OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION Dimitrieva O. A.-----	149
SPORTS ENDURANCE AND ITS DEVELOPMENT Karpov A. A.-----	152
PERSONALITY DEVELOPMENT AS A PEDAGOGICAL PROBLEM Kuz E. V.-----	156
FINISHING MACHINING OF CYLINDRICAL GEAR WHEELS TEETH Melnikova E. P., Pokintelitsa N. I.-----	159
REFINED CALCULATION OF ACTIVE ELECTRICITY LOSSES CAUSED BY IDLE OPERATION IN POWER TRANSFORMERS WITH A COMBINATION OF VOLTAGES 10(6)/0,4KV OF DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS OF THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC, MINIMIZATION OF ELECTRIC LOSSES ENERGY DURING TRANSPORTATION THROUGH THE DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS OF THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC BY MODERNIZATION AND TRANSFER TO CLASSES VOLTAGES: 10; 15; 20; 27,5 AND 35 KV Parsentev O.S.-----	163
MODELING THE SYNTACTIC STRUCTURE OF SENTENCES Romashova O.N., Chigrina A.N.-----	182
FOUNDRY BINDING MATERIALS BASED ON TECHNICAL LIGNIN Svinoroev Yu.A., Gutko Yu.I.-----	185

УДК 536.5/621.43

СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ САЛОНА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТЕПЛОВЕНТИЛЯТОРА

Ажиппо А. Г., Егоров Ю. Ю.

HEATING SYSTEM SALON OF THE VEHICLE WITH THE USE OF CENTRIFUGAL HEAT GENERATOR

Azhippo A. G., Egorov Y. Y.

Существующие системы устройств обогрева и вентиляции кабины транспортных средств, предназначенные для нагрева воздуха, являются дорогостоящими и опасными в пожарной безопасности. Одним из возможных решений этой проблемы может стать использование устройств с аэродинамическим нагревом воздуха (далее тепловентилятора), в которых электрическая энергия посредством мотор-вентилятора преобразуется в аэродинамическую, а затем, диссипируясь, в тепловую.

Ключевые слова: автомобиль, салон, система отопления, центробежный вентилятор, температура, тепловой баланс, двигатель.

Введение. Применяемые в настоящее время на транспортных машинах установки для нагрева воздуха в кабине в холодное время года не достаточно надежны в эксплуатации, требуют тщательного ухода за собой и неэкономичны.

Наиболее распространенной нагревательной установкой является калориферная. В ней генератором теплоты является калорифер, изготавливаемый из меди и медных сплавов. По его трубкам проходит горячая вода, отбираемая от двигателя внутреннего сгорания, а через наружную поверхность – воздух, который нагревается от воды и нагнетается в кабину. Чтобы в зимнее время не замерзала вода в трубках калорифера, перед ним устанавливаются трубчатые электрические нагреватели.

Многолетние испытания эксплуатации калориферных нагревателей на транспортных машинах показали, что они в целом удовлетворяют санитарно-гигиеническим требованиям. Однако в процессе эксплуатации происходит засорение калорифера (отложение накипи в трубках), что ведет к постепенному снижению эффективности установки. Кроме того, от вибрации часто происходит разгерметизация в соединениях труб водяной системы, что снижает надежность в эксплуатации. К недостаткам калориферных установок следует также отнести следующее:

сложная технология изготовления самого калорифера, большие затраты на приобретение дефицитных цветных металлов и сплавов, опасность замерзания воды в трубках в зимнее время, потребность в запчастях и т.д.

Существующие системы устройств обогрева и вентиляции кабины транспортных средств, предназначенные для нагрева воздуха, являются дорогостоящими и опасными в пожарной безопасности. Актуальной задачей в данном случае является замена такого типа нагревателей более дешевой конструкцией, надежной и безопасной.

Одним из возможных решений этой проблемы может стать использование устройств с аэродинамическим нагревом воздуха (далее тепловентилятора), в которых электрическая энергия посредством мотор-вентилятора, преобразуется в аэродинамическую, а затем, диссипируясь, в тепловую.

Данная работа посвящена решению задачи создания компактной, надежной в эксплуатации нагревательной установки для обогрева салона автомобиля.

1. Математическая модель системы отопления салона автомобиля. Для обеспечения рациональных параметров работы системы отопления салона автомобиля и теоретического исследования влияния на них конструктивных и эксплуатационных факторов необходимо математическое описание работы системы. Так как главной задачей системы отопления салона автомобиля является обеспечение наиболее комфортной температуры воздуха, рассмотрим тепловой баланс салона автомобиля в холодный период года.

При расчете выбираем наименее благоприятный режим работы: температура окружающего воздуха принимается минимальной для данного климатического района.

Предлагается система отопления, включающая радиатор 2 системы охлаждения двигателя (рис. 1), вентилятор 3 системы охлаждения двигателя 1,

тепловентилятор 4, газовый теплообменник 5, запорный клапан 6, задвижка 7, фильтр 8.

В качестве генератора теплоты системы отопления принимается тепловентилятор с центробежным вентилятором 4. Данная установка, приводимая от аккумулятора, позволит прогреть сиденье водителя. Уменьшение расхода воздуха через установку посредством задвижки 7 позволит увеличить температуру воздуха. После предварительного прогрева салона и запуска двигателя внутреннего сгорания дополнительная тепловая энергия поступает от радиатора системы охлаждения 2 двигателя внутреннего сгорания 1. В случае недостаточной тепловой мощности совмещенной системы отопления дополнительную энергию получают от теплообменника 5, который состоит из пучка оребренных труб. В качестве горячего теплоносителя используются отработавшие газы двигателя внутреннего сгорания. Запорный клапан 6 позволяет отключить газовый теплообменник 5. Фильтр 8 производит тонкую очистку воздуха, поступающего в салон.

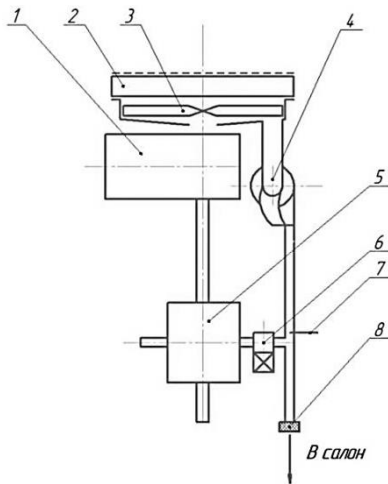


Рис. 1. Система отопления салона с тепловентилятором

Рассмотрим математическую модель теплового расчета системы отопления салона автомобиля.

Основой математической модели являются уравнения связи от управляемых и неуправляемых параметров процессов. На основе данных о конструкции элементов системы охлаждения составляется ряд допущений о потоках теплоносителей и теплоты. Для системы с центробежным тепловентилятором вводятся следующие допущения:

- в качестве теплоносителя системы обогрева салона автомобиля принимается атмосферный воздух;

- в качестве теплоносителя дополнительного генератора теплоты (газового теплообменного аппарата) принимаются отработавшие газы двигателя внутреннего сгорания;

- удельные теплоемкости и плотности теплоносителей в области рассматриваемых температур постоянны;

- потери теплоты в окружающую среду от элементов системы отопления (кроме салона) не учитываются;

- процессы считаются стационарными.

Рациональные конструктивные параметры и режимы работы системы отопления автомобиля выбираются на основании математического моделирования системы и анализа влияния на ее эффективность конструктивных и эксплуатационных факторов. Основным уравнением математической модели системы отопления является уравнение теплового баланса салона, которое составляется с учетом теплоты подводимой в салон и отводимой из нее. Для установившегося режима уравнение теплового баланса записывается следующим образом:

$$Q_{CAL} = Q_q + Q_{\Sigma} + Q_{PD} + Q_{TB} + Q_{IT} \pm Q_C \pm Q_{CT} - Q_Y, \quad (1)$$

где Q_{CAL} – теплота, передаваемая в салон системой обогрева, Вт; Q_q – теплота, выделяемая пассажирами, Вт; Q_{Σ} – теплота, выделяемая при работе электрооборудования, Вт; Q_{PD} – теплота, выделяемая радиатором охлаждения двигателя автомобиля, Вт; Q_{TB} – теплота, выделяемая центробежным вентилятором, Вт; Q_{IT} – теплота, выделяемая газовым теплообменником, Вт; Q_C – теплота, передаваемая через стекла салона автомобиля, Вт; Q_{CT} – теплота, передаваемая через стенки салона автомобиля, Вт; Q_Y – теплота, удаляемая с воздухом, выходящим из салона автомобиля через вентиляционные отверстия и неплотности кузова, Вт.

Теплота, передаваемая от водителя и пассажиров Q_q при температуре воздуха в салоне $+18...+30^{\circ}\text{C}$, определяется по формуле, Вт [1]

$$Q_q = z_n \cdot (186 - 1,8 \cdot T_B), \quad (2)$$

где z_n – число пассажиров вместе с водителем.

В салон поступает теплота от работающего электрооборудования Q_{Σ} , размещенного в нем. Это составляющая теплового баланса салона автомобиля определяется экспериментально.

Теплота, поступающая в салон автомобиля с воздухом, отобранном после радиатора охлаждения двигателя, Вт,

$$Q_{PD} = \eta_1 \cdot G_2 \cdot C_{pm2} \cdot T_2'', \quad (3)$$

где η_1 – доля нагретого воздуха после радиатора для обогрева салона; G_2 – расход воздуха через вентилятор, кг/с; C_{pm2} – средняя удельная массовая теплоемкость воздуха при T_2'' ; T_2'' – температура воздуха после радиатора, К.

Количество теплоты, подводимое к воздуху в центробежном тепловентиляторе Q_{TB} , Вт,

$$Q_{TB} = \eta_2 \cdot N_{эл}, \quad (4)$$

где η_2 – доля преобразования электрической энергии вентилятора в тепловую;

$N_{эл}$ – электрическая мощность вентилятора, Вт.

Количество теплоты, выделяемое газовым теплообменником $Q_{ГТ}$, Вт,

$$Q_{ГТ} = k_{ГТ} \cdot F_{ГТ} \cdot \Delta T_{ГТ}, \quad (5)$$

где $k_{ГТ}$ – коэффициент теплопередачи газового теплообменника, Вт/м²К [2]; $F_{ГТ}$ – площадь поверхности теплообмена газового теплообменника, м²; $\Delta T_{ГТ}$ – температурный напор в газовом теплообменнике, К.

Количество теплоты, теряемое через стенки салона, условно разделено на две составляющие:

– теплоту, проходящую через стекла, Q_C , Вт, [1]

$$Q_C = k_C \cdot F_C \cdot (T_B - T_H), \quad (6)$$

где k_C – коэффициент теплопередачи стекол, Вт/м²К; F_C – площадь остекления, м²; T_B – средняя температура воздуха в салоне автомобиля, К; T_H – температура наружного воздуха, К;

– теплоту, проходящую через непрозрачные стенки салона, $Q_{СТ}$, Вт,

$$Q_{СТ} = \sum_{i=1}^n k_{СТi} \cdot F_{СТi} \cdot (T_B - T_H), \quad (7)$$

где $k_{СТi}$ – коэффициент теплопередачи стенок салона, Вт/м²К; $F_{СТi}$ – площадь стенок салона, м².

Количество теплоты, удаляемое из салона с воздухом, выходящим из салона через вентиляционные отверстия и неплотности кузова, Q_V , Вт,

$$Q_V = G_B \cdot C_{pm} \cdot T_B, \quad (8)$$

где G_B – расход воздуха через вентиляционные отверстия и неплотности кузова, кг/с; C_{pm} – средняя удельная массовая теплоемкость воздуха при T_B , кДж/кгК.

Для решения уравнения теплового баланса салона отопления введем следующие условия однозначности:

1. Геометрические:

– воздушные каналы постоянного сечения;
– трубки в пучке газового теплообменника komponуются по вершинам равностороннего треугольника ($S = 13$ мм);

– размеры трубки $d_{нт} = 5,8$ мм, $d_{оп} = 10,22$ мм, $d_1 = 4,4$ мм, $t_{оп} = 1,59$ мм, степень развития поверхности теплообмена $\psi = 5,729$ (изготовлена по технологии ВНИИМетМаша);

2. Физические:

– физические свойства теплоносителей (плотность, теплоемкость, теплопроводность и коэффициент кинематической вязкости) определяются по средним температурам.

3. Временные:

– процесс теплообмена стационарный.

4. Граничные:

– температура окружающего воздуха принимается равной -25°C ;

– температура воздуха на входе в салон принимается равной 20°C ;

– температура отработавших газов на входе в газовый генератор принимается равной 600°C .

Анализ теплового баланса салона современных автомобилей показывает, что эффективная теплопроизводительность системы отопления, определяемая разностью количества теплоты, передаваемой системой отопления в салон, и потерей теплоты с выходящим воздухом, составляет около 65%.

2. Выбор вентилятора. Исходными данными для выбора типа и размера вентилятора служат производительность G_v и полное давление P_v , которые он должен обеспечить. Эти параметры определяют основные технические требования к вентилятору и зависят от характеристики сети, в которой он работает. Так как в системе отопления и вентиляции салона автомобиля параметры сети изменяются в зависимости от режима работы системы (отопление или вентиляция). Вентилятор должен обеспечивать область значений G_v и P_v .

Характеристика сети изменяется также вследствие действия набегающего потока. Кроме вышеперечисленных требований, особенно для автомобилей малого класса существуют ограничения габаритных размеров из условия компоновки блока отопителя. С целью обеспечения максимального значения среднеексплуатационного КПД выбор вентилятора рекомендуется производить для наиболее часто используемого режима работы системы отопления салона в следующей последовательности:

1. Предварительно выбирают вентиляторы, которые удовлетворяют требуемой габаритности.

2. Характеристики выбранных вентиляторов наносятся на характеристику сети, которая изменяет свое положение под действием набегающего потока.

3. КПД вентилятора должен составлять не менее $\eta = 0,85$, причем рабочая точка должна находиться слева от зоны нестабильной работы вентилятора.

4. Для обеспечения максимальной эффективности работы вентилятора с учетом набегающего потока необходимо, чтобы характеристики вентилятора и сети при среднеексплуатационной скорости движения автомобиля пересекались в точке соответствующей максимальному КПД вентилятора, другими словами, при выборе вентилятора необходимо учитывать среднеексплуатационную скорость движения и соответствующее ей изменение характеристики сети.

Зависимость коэффициента преобразования динамического давления набегающего потока в статическое k_n от скорости движения автомобиля V_a определяется в ходе экспериментальных исследований, после чего рассчитывается изменение статического давления, развиваемого вентилятором, и перемещение рабочей точки вентилятора по его характеристике.

3. Расчет режима прогрева салона. В настоящее время в отечественном автомобилестроении требования к режиму прогрева

салона еще окончательно не сформулированы, однако уже давно существуют за рубежом, поэтому необходим расчет режима прогрева салона автомобиля с целью определения времени прогрева и уточнения характеристик системы отопления рассчитанных ранее.

Граничные условия задаются с целью определения времени прогрева салона до момента, когда обеспечится возможность начала движения, который характеризуется полным оттаиванием стекол и прогревом двигателя до температуры охлаждающей жидкости не менее 40°C. Тогда граничные условия: $T_1' = 40^\circ\text{C}$; $T_{CB} \geq 0$. При прогреве салона температура воздуха на выходе из отопителя постепенно повышается по мере прогрева двигателя и повышения температуры охлаждающей жидкости на входе в радиатор.

Зависимость температуры охлаждающей жидкости на входе в радиатор T_1' от времени прогрева двигателя с учетом температуры наружного воздуха определяется в ходе экспериментальных исследований.

После окончательного определения требуемой теплопроизводительности уточняется расход воздуха в системе отопления и правильность выбора вентилятора.

Выводы. Теоретические исследования системы отопления позволяют решить следующие задачи:

1. Получить математическую модель системы обогрева салона автомобиля.
2. Обосновать методику выбора вентилятора для системы отопления салона автомобиля.
3. Сформулировать задачи экспериментальных исследований центробежного вентилятора с целью определения степени перегрева воздуха в зависимости от режима его работы.

Л и т е р а т у р а

1. Хохряков В.П. Вентиляция, отопление и обеспыливание воздуха в кабинах автомобилей / В.П. Хохряков. – М.: Машиностроение, 1987. – 152 с.
2. Куликов Ю.А. Выбор рациональных параметров обреченной трубы для теплообменных аппаратов вязких

жидкостей ДВС транспортных машин / Куликов Ю.А., Гончаров А.В., Ажиппо А.Г., Оробцов Т.А. // Вісник Національного транспортного університету. – 2012. – № 25. – С. 99-102.

Azhippo A.G., Egorov Y.Y.

HEATING SYSTEM SALON OF THE VEHICLE WITH THE USE OF CENTRIFUGAL HEAT GENERATOR

Existing systems of heating and ventilation devices for the cabin of vehicles designed to heat air are expensive and dangerous in terms of fire safety. One of the possible solutions to this problem can be the use of devices with aerodynamic air heating (hereinafter referred to as a fan heater), in which electrical energy, by means of a fan motor, is converted into aerodynamic energy, and then, dissipating, into thermal energy.

Key words: car, interior, heating system, centrifugal fan, temperature, heat balance, engine.

Ажиппо Александр Генрихович, к.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: aazhippo@mail.ru

Azhippo Alexandr, Cand. Sci. (Eng.), Docent of the «Automobile transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Егоров Юрий Юрьевич, студент кафедры «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: avtokaf@mail.ru

Egorov Yury, student of the «Automobile transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения и инженерный консалтинг», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 13.04.2023

УДК 536.5/621.43

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ВО ВПУСКНОМ ТРУБОПРОВОДЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ажиппо А. Г., Кадыкова И. В., Караваев А. А.

THEORETICAL INVESTIGATIONS OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN THE INTAKE PIPELINE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Azhippo A. G., Kadykova I. V., Karavaev A. A.

Существующие методики расчета впускных трубопроводов двигателей внутреннего сгорания без наддува воздуха с искровым воспламенением горючей смеси сводятся к аэродинамическим расчетам. Поэтому для проведения вышеупомянутых расчетных исследований требуются теоретические исследования процессов теплообмена во впускном трубопроводе. Кроме того, необходимо проведение исследования работы системы впуска воздуха в целом, с учетом изменения конструкции аэродинамического тракта путем применения охладителя воздуха.

Ключевые слова: двигатель, впускной трубопровод, воздух, расход, теплоемкость, теплообмен.

Введение. В реальных двигателях внутреннего сгорания масса свежего заряда меньше массы заряда, которая могла бы заполнить рабочий объем цилиндра при параметрах состояния перед впускными органами по следующим причинам [1-5]:

- аэродинамическое сопротивление впускных патрубков и клапанов вызывает понижение давления в цилиндре по сравнению с давлением на входе;

- в начале процесса наполнения происходит расширение остаточных газов, давление и температура которых выше соответствующих параметров состояния свежего заряда на входе в цилиндр, что приводит к заполнению рабочего объема цилиндра остаточными газами;

- остаточные газы подогревают свежий заряд;

- свежий заряд подогревается от контакта с более нагретыми стенками окружающих деталей (головка цилиндра, днище поршня, втулка цилиндра);

- кинетическая энергия потока свежего заряда преобразуется в тепловую при его торможении внутри цилиндра, что приводит к повышению температуры свежего заряда.

Увеличение массы свежего заряда, поступающего в цилиндр, и обеспечивается промежуточным охлаждением воздуха. Высокая влажность воздуха в сочетании с высокой степенью

охлаждения воздуха может привести к конденсации влаги и образованию растворов серной кислоты, что, в конечном счете, станет причиной коррозии деталей цилиндропоршневой группы. Для предотвращения вероятности образования растворов серной кислоты предлагалось проводить контроль температуры охлаждающей жидкости (повышать до верхнего предела) с целью исключения возможности конденсации паров воды воздуха на стенках цилиндра двигателя. Но ввиду ограниченного объема магистерской работы остановимся только на исследованиях в области промежуточного охлаждения воздуха во впускном коллекторе двигателя внутреннего сгорания легкового автомобиля. В качестве базовой модели принимается автомобиль семейства ВАЗ, оборудованный бортовым кондиционером.

Все это приводит к необходимости проведения энергетических и аэродинамических расчетов как охладителя воздуха, так и системы питания двигателя в целом, а именно на системе впуска воздуха.

Объект исследований. Перед началом исследований необходимо выбрать объект исследований. Автором разработана схема впуска воздуха как составная часть системы питания двигателя внутреннего сгорания, использующего впрыск бензина. Как оговаривалось ранее, работоспособность такой системы обеспечивается наличием в комплектации автомобиля бортового автомобильного кондиционера. Схема системы впуска воздуха приведена на рис. 1, где изображена система питания двигателя внутреннего сгорания автомобиля с подключением охладителя воздуха во впускной трубопровод перед расходомером воздуха. Охладитель воздуха представляет собой кожухотрубный теплообменный аппарат жидкостно-воздушного типа. Поток охлаждаемого воздуха движется в межтрубном пространстве, в то время как поток охлаждающей жидкости движется внутри трубок. Тип разбивки пучка принимаем коридорный, как имеющий более низкое

аэродинамическое сопротивление по сравнению с шахматным.

Система впуска воздуха системы питания двигателя внутреннего автомобиля с впрыском топлива содержит воздушный фильтр 1, жидкостный охладитель воздуха 2, затем далее по ходу воздуха расположены расходомер воздуха 3 с встроенным датчиком температур 4, дроссельная заслонка 5, положение которой контролируется датчиком 6, объединенные впускным трубопроводом 7, в который установлены пусковая форсунка 8 и регулятор давления 9, параллельно впускному трубопроводу 7 включен клапан дополнительного воздуха 10, рабочая форсунка 11 установлена во впускном трубопроводе 7 перед двигателем внутреннего сгорания 12, блок электронного управления 13 соединен электрической связью с элементами системы впуска воздуха, запорный клапан 14, установленный на трубопроводе подачи хладагента, и перепускной клапан 15, установленный параллельно охладителю воздуха 2, регулирует расход охлаждающего теплоносителя через охладитель воздуха 2.

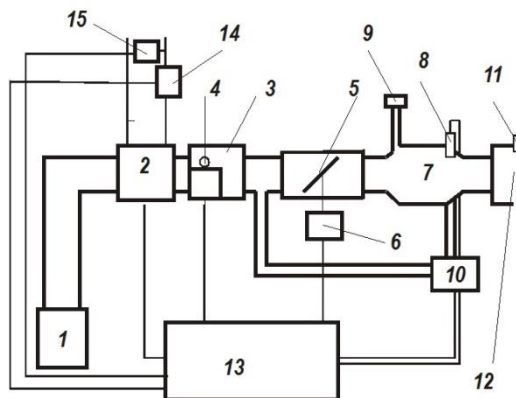


Рис. 1. Схема системы впуска воздуха системы питания двигателя внутреннего сгорания с впрыском топлива:

1 – воздушный фильтр; 2 – охладитель воздуха; 3 – расходомер воздуха; 4 – датчик температуры; 5 – дроссельная заслонка; 6 – датчик положения дроссельной заслонки; 7 – впускной трубопровод; 8 – пусковая форсунка; 9 – регулятор давления; 10 – клапан дополнительного воздуха; 11 – рабочая форсунка; 12 – двигатель внутреннего сгорания; 13 – блок электронного управления; 14 – запорный клапан; 15 – перепускной клапан

Система впуска воздуха системы питания двигателя внутреннего сгорания автомобиля с впрыском топлива работает следующим образом: воздух вследствие разрежения, создаваемого насосными ходами поршней двигателя внутреннего сгорания 12, проходит через воздушный фильтр 1, где очищается от загрязнений, затем поток воздуха поступает в межтрубное пространство охладителя воздуха 2 и далее к расходомеру 3 с датчиком температуры 4, по показаниям которых и положению дроссельной заслонки 5,

регистрируемому контрольным датчиком 6, в блоке электронного управления 13 формируются командные импульсы по количеству подачи топлива во впускной трубопровод 7 через пусковую форсунку 8 и через рабочую форсунку 11 к двигателю внутреннего сгорания 12, регулятором давления 9 поддерживается постоянное давление в системе питания, тонкая регулировка величины коэффициента избытка воздуха осуществляется положением клапана дополнительного воздуха 10. В случае достижения воздухом температуры $+30^{\circ}\text{C}$ электронный блок 13 дает сигнал на открытие запорного клапана 14 и в охладитель воздуха 2 поступает хладагент автомобильного кондиционера, необходимый расход хладагента определяется расходом и температурой воздуха, регистрируемые расходомером 3 и датчиком температуры 4, которые связаны с электронным блоком 13, тонкое регулирование расхода хладагента осуществляется перепускным клапаном 15. Поток хладагента кондиционера проходит последовательно через теплообменник кондиционера и затем через охладитель воздуха системы впуска.

Тепломассообмен в системе впуска воздуха.

В процессе эксплуатации автомобиля режимы работы двигателя внутреннего сгорания (в дальнейшем – двигателя) изменяются в широких пределах, в том числе двигатель работает с максимальной нагрузкой. Как отмечалось выше, величина максимальной мощности, развиваемой двигателем автомобиля, является функцией температуры окружающего воздуха, и в соответствии с физическими свойствами воздуха она будет уменьшаться, как уменьшается плотность воздуха и, соответственно, его весовой расход. Объемный расход остается величиной постоянной и является функцией постоянной, зависящей от размерности двигателя и режима работы (частоты вращения коленчатого вала), т.е. величиной, известной для любых режимов работы определенного двигателя. Кроме того, для полного учета тепломассообмена необходимо учесть затраты теплоты на охлаждение кондиционером воздуха салона автомобиля при максимальной мощности работы кондиционера для сохранения комфортных условий внутри салона. Поэтому при расчете и проектировании системы впуска воздуха, в том числе одного из главных ее элементов – охладителя воздуха, считаются известными теплоотвод в охладителе (при развитии двигателем полной мощности) и допустимые значения температур теплоносителей. Основной искомой величиной является поверхность теплообмена охладителя воздуха выбранной конструкции, определяющей нормальный тепловой режим работы системы впуска при расчетных значениях эффективной мощности двигателя автомобиля с полной нагрузкой и максимальной скорости движения.

В силу вышеизложенного исходными данными при определении необходимой поверхности

теплообмена охладителя воздуха F_2 и требуемой мощности (хладопроизводительности) кондиционера, расхода хладагента кондиционера являются: теплоотвод от воздуха системы впуска, тип поверхности теплообмена с конкретными значениями параметров конструкции (размерами элементарных каналов и сечениями для прохода теплоносителей и др.), расход воздуха объемный двигателем автомобиля, расход воздуха салона через кондиционер, эффективная мощность двигателя при максимальных оборотах коленчатого вала двигателя и физические параметры, характеризующие теплоносители (температура T , теплоемкость C_p , плотность ρ , и др.).

Для решения этой задачи используется система уравнений теплопередачи и теплового баланса [6-7]. Для кожухотрубного теплообменника-охладителя такие уравнения на основании вышеизложенного выводятся при следующих допущениях:

- жидкий теплоноситель кондиционера движется внутри прямой трубы, которая омывается потоком воздуха;

- в охладителе осуществляется перекрестное движение теплоносителей;

- в направлении, перпендикулярном к направлению движения теплоносителей, смешение полное, поэтому скорости и температуры их осредняются;

- смешение теплоносителей и передача теплоты в стенке трубы в направлении движения сред не учитывается;

- удельные теплоемкости и плотности теплоносителей в области рассматриваемых температур постоянны;

- коэффициенты теплопередачи постоянны по всей поверхности теплообмена;

- потери теплоты в окружающую среду не учитываются;

- сечения и формы потоков теплоносителей постоянны;

- температура окружающего воздуха принимается $+45^\circ\text{C}$;

- температура воздуха на входе в цилиндры двигателя $+20^\circ\text{C}$;

- мощность, развиваемая двигателем, максимальная, N_e ;

- число оборотов коленчатого вала двигателя, n_e ;

- расход двигателем воздуха максимальный;

- расход воздуха салона автомобиля через кондиционер максимальный;

- расход хладагента через теплообменник кондиционера и охладитель системы впуска воздуха максимальный;

- поток хладагента проходит последовательно через теплообменник кондиционера и затем через охладитель воздуха системы впуска.

По отношению к схеме впуска воздуха, представленной на рис. 1, эта система имеет вид:

$$dQ = dQ_1 + dQ_2;$$

$$dQ = W_1 \cdot dT_1 = v_1 \cdot \rho_1 \cdot f_1 \cdot C_{p1} \cdot dT_1;$$

$$dQ_1 = W_2 \cdot dT_2 = v_2 \cdot \rho_2 \cdot f_2 \cdot C_{p2} \cdot dT_2; \quad (1)$$

$$dQ_2 = W_3 \cdot dT_3 = v_3 \cdot \rho_3 \cdot C_{p3} \cdot dT_3$$

$$dQ_2 = K \cdot dF \cdot \nu,$$

где dQ – теплообмен в кондиционере на охлаждение воздуха в салоне и охладителе воздуха системы пуска; dQ_1 – теплообмен при охлаждении воздуха салона автомобиля; dQ_2 – теплообмен при охлаждении воздуха системы впуска; k – коэффициент теплопередачи в охладителе воздуха системы впуска; ν – средний температурный напор; F – площадь, омываемая воздухом; W_i – водяные эквиваленты теплоносителей; v_i – скорости теплоносителей; ρ_i – плотность теплоносителей; f_i – сечения для прохода теплоносителей; C_{pi} – теплоемкости теплоносителей; T_i – температура теплоносителей.

Здесь индекс 1 относится к охлаждающему теплоносителю кондиционера, индекс 2 относится к воздуху салона автомобиля, индекс 3 относится к воздуху системы впуска двигателя автомобиля.

В системе (1) искомой величиной является поверхность теплообмена dF_2 .

Система уравнений (1) в форме конечных разностей величин параметров при условии, когда среднелогарифмическое значение температурного напора можно заменить среднеарифметическим, представляется следующим образом.

Для салона автомобиля:

$$Q_1 = W_1 \cdot (T_1' - T_1'') = v_1 \cdot \rho_1 \cdot C_{p1} \cdot f_1 \cdot (T_1' - T_1''); \quad (2)$$

$$Q_1 = W_2 \cdot (T_2'' - T_2') = v_2 \cdot \rho_2 \cdot C_{p2} \cdot f_2 \cdot (T_2'' - T_2')$$

Для системы впуска воздуха:

$$Q_2 = W_1 \cdot (T_1'' - T_1''') = v_1 \cdot \rho_1 \cdot f_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_1'' - T_1'''); \quad (3)$$

$$Q_2 = W_3 \cdot (T_3'' - T_3') = v_3 \cdot \rho_3 \cdot C_{p3} \cdot f_3 \cdot (T_3'' - T_3')$$

$$Q_2 = k \cdot F \cdot \left(\frac{T_3' + T_3''}{2} - \frac{T_1'' + T_1'''}{2} \right).$$

Система уравнений (2) и (3) не замкнута: шесть неизвестных (W_1 , T_1' , T_1'' , T_1''' , k , F) и пять уравнений. Для реализации возможности решения системы добавим шестое уравнение – суммарного процесса теплоотдачи в кондиционере:

$$Q = Q_1 + Q_2 = W_1 \cdot (T_1' - T_1''') = v_1 \cdot \rho_1 \cdot C_{p1} \cdot f_1 \cdot (T_1' - T_1''') \quad (4)$$

В системе уравнений (3) коэффициент теплопередачи k зависит от режимов течения теплоносителей, определяемых скоростями v_1 и v_3 .

Как оговаривалось выше, система рассчитывается при максимальном расходе воздуха во впускном трубопроводе, т.е. $v_3 = \max$ и максимальном расходе воздуха через кондиционер салона ($v_2 = \max$), при этом в данной работе энергетические характеристики кондиционера определяются как требуемые, т.е. только требуемая

хладопроизводительность без детальной разработки его технических параметров, поскольку это не входит в объем исследований.

Скорость воздуха v_3 удобно измерять в сечении перед фронтом охладителя воздуха. Поэтому в дальнейшем в уравнениях целесообразно использовать значения скоростей $v_{3ф}$ (объемная скорость, м/с) и $u_{3ф}$ (массовая скорость, кг/(м²·с)), определяемые фронтальным сечением охладителя воздуха ($f_{3ф} = A \cdot B$).

Для проведения энергетических расчетов системы впуска в целом и охладителя воздуха в частности при таких режимах работы необходимы уравнения в параметрической и критериальной форме, описывающие теплоотдачу от воздуха в охладителе при конвективной теплоотдаче.

Для случая теплоотдачи от вертикальной стенки при постоянной ее температуре ($T_c = \text{const}$) в неограниченном пространстве (при турбулентном режиме течения воздуха $Gr_3 \cdot Pr_3 \geq 6 \cdot 10^{10}$) предложена формула [7]:

$$Nu_3 = \frac{\alpha_3 \cdot X}{\lambda_3} = 0,15 \cdot (Gr_3 \cdot Pr_3)^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_3}{Pr_c} \right)^{0,25}, \quad (5)$$

где $Gr_3 = \left(\frac{g \cdot \beta \cdot \vartheta_c \cdot X^3}{\nu_3^2} \right)$; $\vartheta_c = T_c - T_0$; X – высота охладителя.

В качестве охладителя воздуха системы впуска выбирается кожухотрубный теплообменник с теплопередающей секцией, аналогичной радиатору отопителя салона автомобилей ВАЗ, выполненной из алюминиевых трубок с коллективным обребрением из алюминиевых пластин.

Так как сложная конструкция охладителя с многочисленными ребрами существенно отличается от вертикально расположенной плиты, зависимость (5) должна быть уточнена в результате специальных экспериментальных исследований теплоотдачи при свободном движении воздушного потока вдоль вертикально расположенного охладителя в окружающем его пространстве:

$$Nu_3 = \frac{\alpha_3 \cdot X}{\lambda_3} = C \cdot (Gr_3 \cdot Pr_3)^{\frac{1}{3}}. \quad (6)$$

C – уточняется экспериментально.

Выводы. 1. Рассматриваемый элемент конструкции системы впуска системы питания двигателя с впрыском топлива – охладитель омывается воздушным потоком, просасываемым за счет насосных ходов двигателя внутреннего сгорания, с наружной поверхности охладителя и хладагентом кондиционирования салона внутри трубок. Это требует рассмотрения процесса теплопередачи в охладителе воздуха, что привело к необходимости разработки соответствующих математических моделей расчета как охладителя воздуха и системы впуска в целом, так и системы кондиционирования салона.

2. Особенности эксплуатации охладителя воздуха системы впуска, т.е. наличие фильтра воздуха с высокой степенью очистки перед охладителем воздуха обеспечивает длительную эксплуатацию охладителя без загрязнений. Следовательно, не требуется учитывать влияние загрязнений поверхности охладителя на процесс теплоотдачи и проводить дополнительные теоретические и экспериментальные исследования.

3. Разработана математическая модель энергетического расчета системы впуска воздуха системы питания двигателя с впрыском топлива легкового автомобиля с целью: выбора рациональных размеров поверхности теплообмена охладителя воздуха, омываемой воздушным потоком, поступающим в цилиндры двигателя, для снижения температуры воздушного заряда в условиях эксплуатации автомобиля при высокой температуре окружающего воздуха (свыше 30⁰С), определения рациональных параметров конструкции и режимов работы охладителя воздуха системы впуска, исследование работы системы впуска в целом с учетом влияния на ее энергетические и технико-экономические характеристики элементов конструкции и режимов их работы (фильтра воздуха на входе, охладителя воздуха, расходомера воздуха и дроссельной заслонки).

4. Для уточнения полученных результатов теоретических исследований, в том числе математических моделей, необходимо экспериментально определить:

- энергетические характеристики охладителя воздуха системы впуска (в качестве прототипа поверхности которого выбрана поверхность радиатора отопителя автомобиля ВАЗ) в параметрической и критериальной формах: коэффициент теплопередачи K , теплоотдачи α_3 , аэродинамическое сопротивление Δp_3 и гидравлическое сопротивление Δp_1 ;

- аэродинамическое сопротивление воздушного фильтра высокой эффективности очистки из нетканого материала.

Л и т е р а т у р а

1. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Двигатели внутреннего сгорания" / В.П. Алексеев, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 288 с.

2. Автомобили с дизельными двигателями: Учеб. пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1981. – 264 с.

3. Устройство и эксплуатация автотранспортных средств: Учебник водителя / Роговцев В.Л., Пузанков А.Г., Олдфильд В.Д. – М.: Транспорт, 1990. – 432 с.

4. Система впрыска зарубежных автомобилей, устройства, регулировка, ремонт. / Ю.Казедорф, Э. Войцетшлегер. Издательство "За рулем" г. Москва, 2000 г.

5. Вексельский С.А. Справочник моториста установок с ДВС: Вопросы и ответы / С.А. Вексельский. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 272 с.

6. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам / П.И. Бажан. – М.: Машиностроение, 1989. – 366 с.

7. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи / М.А. Михеев. – М. Энергия, 1973. – 320 с.

Azhippo A., Kadykova I., Karavaev A.A.

THEORETICAL INVESTIGATIONS OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN THE INTAKE PIPELINE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

The existing methods for calculating the intake piping of naturally aspirated internal combustion engines with spark ignition of a combustible mixture are reduced to aerodynamic calculations. Therefore, in order to carry out the above-mentioned computational studies, theoretical studies of heat transfer processes in the inlet pipeline are required. In addition, it is necessary to study the operation of the air intake system as a whole, taking into account changes in the design of the aerodynamic path through the use of an air cooler.

Key words: engine, inlet pipeline, air, consumption, heat capacity, heat transfer

Ажиппо Александр Генрихович, к.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: aazhippo@mail.ru

Azhippo Alexandr, Cand. Sci. (Eng.), Docent of the «Automobile transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Кадыкова Ирина Васильевна, ассистент кафедры «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: avtokaf@mail.ru

Kadykova Irina, assistant of the «Automobile transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Караваяев Алексей Андреевич, студент кафедры «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Karavaev Alexandr, student of the «Automobile transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения и инженерный консалтинг», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 13.04.2023

УДК 536.584

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Ажиппо А. Г., Трефилов И. А.

AERODYNAMIC RESISTANCE OF THE COOLING UNIT

Azhippo A. G., Trefilov I. A.

Целью работы является исследование процессов течения теплоносителя в охлаждающих устройствах с нагнетательной аэродинамической схемой для повышения эффективности работы транспортных машин нового поколения путем сокращения затрат мощности на привод вентиляторов в результате их работы на «холодном» воздухе, с повышением теплорассеивания радиаторов от увеличения турбулизации закрученного вентилятором воздушного потока на входе и уменьшения динамических потерь на выходе из охлаждающего устройства (сечение радиатора значительно больше сечения, ометаемого лопастями вентилятора). Применены методы исследования: теплового баланса и математического моделирования; аналитические методы решения систем дифференциальных уравнений, теория подобия.

Ключевые слова: охлаждающее устройство, вентилятор, радиатор, пластина, давление, плотность, аэродинамический расчет.

Введение. При создании охлаждающих устройств одной из основных задач является определение аэродинамического сопротивления системы и процессов теплопередачи в радиаторах.

Конечной целью расчетов охлаждающих устройств является определение затрат мощности на привод вентиляторов, перемещающих воздушный поток. Для их определения необходимо знать требуемый расход воздуха и сопротивление аэродинамического тракта. Расход воздуха определяется в результате теплового расчета, а аэродинамическое сопротивление – как сумма потерь в основных элементах аэродинамического тракта.

Анализ предшествующих исследований и публикаций. Сравнение охлаждающих устройств всасывающего и нагнетательного типов позволяет выявить основное отличие в энергетических процессах движения охлаждающего воздуха, а именно: в системах всасывающего типа вентилятор располагается за радиатором и перемещает воздух, нагретый в радиаторе; в охлаждающих устройствах нагнетательного типа вентилятор располагается перед радиатором и перемещает закрученный поток воздуха с температурой окружающей среды к

радиатору, интенсифицируя его теплорассеивание; динамические потери на выходе из системы определяются фронтальным сечением радиатора, которое значительно больше сечения, ометаемого лопастями вентилятора (рис. 1).

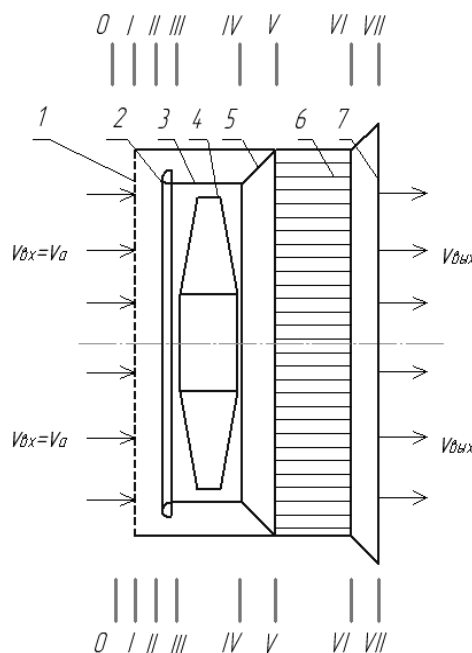


Рис. 1. Схема аэродинамического тракта системы охлаждения нагнетательного типа двигателя автомобиля: 1 – облицовочная решетка; 2 – коллектор (конфузор); 3 – обечайка вентилятора; 4 – вентилятор; 5 – кожух вентилятора; 6 – радиатор; 7 – диффузор; 0-I – сечение перед облицовочной решеткой; I-II – канал между облицовочной решеткой и коллектором (конфузором); II-III – коллектор (конфузор); III-IV – вентилятор; IV-V – кожух; V-VI – радиатор; VI-VII – диффузор; VII-VII – сечение за диффузором

Существующие методы энергетического расчета разработаны для охлаждающих устройств всасывающего типа [1, 2]. Для проведения расчетных исследований охлаждающих устройств

нагнетательного типа требуются дополнительные исследования, учитывающие особенности работы охлаждающего устройства такого типа.

Целью работы является исследование влияния элементов охлаждающего устройства на аэродинамическое сопротивление тракта между параллельными пластинами обребрения охлаждающего устройства (рис. 1).

1. Аэродинамическое сопротивление радиатора. Аэродинамическое сопротивление радиатора определяется по уравнению (1), а охлаждающего устройства в целом – потерями энергии воздушного потока на отдельных участках аэродинамического тракта (рис. 1) и описывается уравнением Бернулли

$$P_v = \Delta p_{реш} + \Delta p_{кан} + \Delta p_{рад} + \Delta p_{диф} + \Delta p_{вых} - \rho'_2 \frac{v_a^2}{2} =$$

$$= \zeta_{реш} \rho'_2 \frac{v_a^2}{2} + \zeta_{кан} \rho'_2 \frac{v_{фр}^2}{2} + \zeta_{рад} \rho_{2cp} \frac{v_{фр}^2}{2} + \zeta_{диф} \rho'_2 \frac{v_{фр}^2}{2} +$$

$$+ \zeta_{вых} \rho'_2 \frac{v_{фр}^2}{2} \left(\frac{f_{фр}}{f_{VII}} \right) - \rho'_2 \frac{v_a^2}{2},$$

где $\Delta p_{реш}$, $\Delta p_{кан}$, $\Delta p_{рад}$, $\Delta p_{диф}$, $\Delta p_{вых}$ – потери давления в облицовочной решетке, в канале между облицовочной решеткой и коллектором (конфузором), в радиаторе, в диффузоре и на выходе из устройства соответственно; $\zeta_{реш}$, $\zeta_{кан}$, $\zeta_{рад}$, $\zeta_{диф}$, $\zeta_{вых}$ – коэффициенты аэродинамического сопротивления облицовочной решетки, канала между облицовочной решеткой и коллектором (конфузором), радиатора, диффузора и на выходе из устройства соответственно; $\zeta_{реш} = \beta_1 k_1 \sin \theta$ – коэффициент аэродинамического сопротивления облицовочной решетки [3], здесь β_1 – коэффициент формы стержней;

$$k_1 = \left(\frac{S_1}{a_0} - 1 \right)^{4/3};$$

где S_1 – расстояние между осями двух соседних стержней, м; a_0 – просвет между двумя соседними стержнями, м; θ – угол наклона стержня к потоку; $\zeta_{диф} = f(\alpha, n_1, Re)$ – коэффициент аэродинамического сопротивления диффузора [3],

где α – угол раскрытия диффузора; $n_1 = \frac{F_1}{F_0}$ –

степень расширения диффузора; F_1 – площадь сечения на выходе из диффузора; F_0 – площадь сечения на выходе из диффузора; $Re = \frac{v_0 D_z}{\nu}$ –

число Рейнольдса, $D_z = \frac{4F_0}{\Pi_0}$ – гидравлический диаметр; Π_0 – периметр сечения (на входе).

Выбор формы переходных участков при переходе с круга на квадрат определяется следующим соотношением [3]:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{2\sqrt{\frac{a_1 b_1}{\pi}} - D_0}{2\ell_{диф}},$$

где a_1 – длина квадрата; b_1 – ширина квадрата; $\ell_{диф}$ – высота диффузора; D_0 – диаметр круга. Учитывая уравнение (1), получим суммарные потери энергии воздушного потока аэродинамического тракта

$$P_v = \zeta_{реш} \frac{32\mu v_{реш}}{D_{реш}^2} + \zeta_{кан} \frac{32\mu v_{кан}}{D_{кан}^2} + \zeta_{рад} \frac{32\mu v_{рад\ cp}}{D_{рад}^2} +$$

$$+ \zeta_{диф} \frac{32\mu v_{диф}}{D_{диф}^2} + \zeta_{вых} \frac{32\mu v_{вых}}{D_{вых}^2},$$

где ζ – коэффициенты, уточняющие теоретическое решение по отношению к участкам тракта, полученные на основе эксперимента (например,

$$\zeta_{реш} = \frac{\Delta p}{\frac{32\mu v_{реш}}{D_{реш}^2}}).$$

Уравнение (2) позволяет получить затраты мощности на привод вентилятора

$$N_2 = \frac{P_v \cdot V_2}{\eta},$$

где V_2 – расход воздуха, обеспечиваемый вентилятором, м³/с; η – КПД вентиляторной установки.

Полученные уравнения (2) и (3) необходимо уточнить экспериментальными исследованиями величин ζ_i и K_i .

2. Исследование вынужденного турбулентного движения. Вынужденное движение создается внешним возбудителем – вентилятором. По характеру движения различают два режима – ламинарный и турбулентный. Первый получается при малых скоростях движения, второй – при больших. Ламинарное и турбулентное движения имеют не только качественное, но и количественное различие. Оно заключается в закономерностях изменения скорости по поперечному сечению трубы. При ламинарном режиме скорость изменяется по закону параболы [4]:

$$v = v_0 \left(1 - \frac{y^2}{r^2} \right),$$

где v_0 – скорость на оси трубы; v – скорость на расстоянии y от оси трубы; r – радиус трубы. При этом на оси трубы скорость максимальна, а у стенки она равна нулю.

При турбулентном режиме кривая изменения скорости имеет вид усеченной параболы [4]. Вблизи стенки кривая изменяется круто, а в средней части сечения – в турбулентном ядре потока – полого. Максимальная скорость наблюдается также на оси трубы.

При турбулентном режиме это отношение равно некоторой величине c , которая является функцией числа Рейнольдса:

$$\frac{\bar{v}}{v_0} = c = f(Re). \quad (3)$$

Воспользуемся уравнением Гагена–Пуазейля:

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{8\mu v}{r_i^2}.$$

Путем несложных преобразований получим:

$$\frac{v}{v_0} = -\frac{\Delta p r_i^2}{8\mu v_0}.$$

Учитывая уравнения (1) и (3), получим отношение средней скорости к максимальной при турбулентном режиме движения:

$$\frac{v}{v_0} = -0,2568(\lg Re)^4 + 5,4936(\lg Re)^3 - 44,046(\lg Re)^2 + 156,88(\lg Re) - 208,62$$

Данное выражение справедливо при значениях Рейнольдса $Re = 67,843 \cdot 10^3 \dots 464,44 \cdot 10^3$ ($\lg Re = 4,83 \dots 5,67$).

На рис. 2 представлено графическое изображение зависимости средней скорости к максимальной при турбулентном движении в круглой трубе.

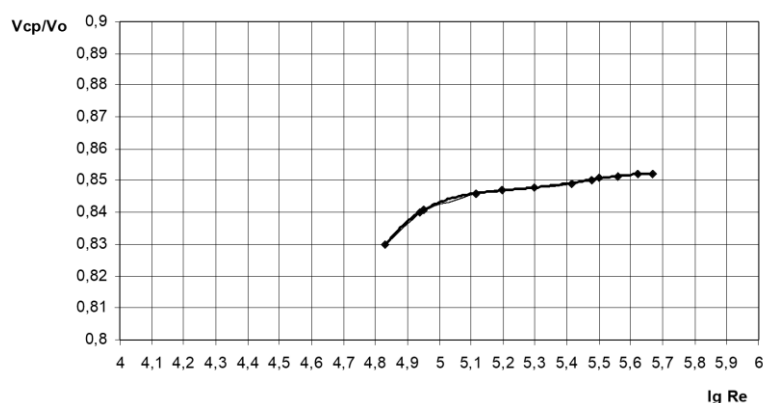


Рис. 2. Зависимость отношения средней скорости к максимальной при турбулентном движении

Выводы. Исследовано влияние элементов охлаждающего устройства на аэродинамическое сопротивление тракта, в результате которого получено выражение для определения потерь энергии воздушного потока на отдельных участках тракта.

Л и т е р а т у р а

1. Куликов Ю.А. Некоторые аспекты моделирования охлаждающего устройства транспортного средства при неполном обдуве поверхности теплообмена вентилятором / Ю.А. Куликов, В.А. Лахно, Абдель-Баги Валид // Приднепровский научный вестник. – 1997. – № 51 (62). – С. 28-32. – (Серия «Технические науки»).
2. Куликов Ю.А. Особенности энергетического расчета системы охлаждения автомобиля при неполном охвате радиатора кожухом / Ю.А. Куликов, А.В. Гончаров, Ю.Н. Томачинский, А.А. Верховодов // Автомобильный транспорт. – Харьков: Збірник наукових праць, 2007. – № 20. – С. 27-30.
3. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках / А.А. Жукаускас – Москва: Наука, 1982. – 472 с.
4. Исаченко В.П. Теплопередача: [учебник для вузов] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – Москва: Энергоиздат, 1981.

Azhippo A.G., Trefilov I.A.

AERODYNAMIC RESISTANCE OF THE COOLING UNIT

The aim of the work is to study the processes of coolant flow in cooling devices with an aerodynamic injection circuit to increase the efficiency of new generation transport vehicles by reducing the power consumption of the fan drive as a result of their operation in "cold" air, with increased heat dissipation of

radiators from increased turbulization of the air flowed by a fan at the entrance and reduce the dynamic losses at the exit of the cooling device (the cross section of the radiator is much more the longer section, swept fan blades). The following research methods were applied: heat balance and mathematical modeling; analytical methods for solving systems of differential equations, similarity theory.

Key words: cooling device, fan, radiator, plate, pressure, density, aerodynamic calculation.

Ажиппо Александр Генрихович, к.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: aazhippo@mail.ru

Azhippo Alexandr, Cand. Sci. (Eng.), Docent of the «Automobile transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Трефилов Иван Александрович, студент кафедры «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: avtokaf@mail.ru

Trefilov Ivan, student of the «Automobile transport» Department of ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения и инженерный консалтинг», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 13.04.2023

УДК 656.613.1.3

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО И ДРУГИХ ВИДОВ СПЕЦИАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Андреев А. А., Сингеев А. В., Будиков Л. Я, Захарчук А. С.

IMPROVING INTERACTION AND INCREASING THE EFFICIENCY OF RAILWAY AND OTHER TYPES OF SPECIAL TRANSPORT IN EMERGENCY SITUATIONS

Andreev A. A., Singeev A. V., Budikov L. Ya, Zakharchuk A. S.

Статья посвящена актуальности решения проблемы чрезвычайных ситуаций, ресурсосбережению в транспортных технологиях при ликвидации пожаров, сохранению экологической обстановки. Рассмотрены принципы применения новых современных геоинформационных систем ГЛОНАСС при логистическом управлении с общего командного пункта управления. В статье поднимается вопрос оптимизации и повышения эффективности взаимодействия железнодорожного, авиационного и наземного специального транспорта в труднодоступных районах.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пожарная машина, специальная техника, специальный транспорт, противопожарные хабы, чрезвычайная ситуация, экология, беспилотный летательный аппарат, дроны, командный пункт управления, пожарный вертолет, ГЛОНАСС, МЧС.

Введение. Комплексное использование железнодорожного транспорта со специальной наземной и авиационной техникой направлено на спасение жизни, сохранение окружающей среды и здоровья людей, а также решение актуальной научно-технической задачи – ресурсосбережению в транспортных технологиях (ТТ) при ликвидации ЧС (пожары, взрывы, техногенные происшествия и др.) в отдаленных районах.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследования в области ЧС показали, что за 12 месяцев 2022 г. произошло 352323 пожара (за аналогичный период прошлого 2021 года (АППГ) – 390809, – 9,8%), на которых погибло 7709 человек (АППГ – 8473, – 9,0%), в том числе 305 несовершеннолетних (АППГ – 380, – 19,7%), получили травмы 8148 человек (АППГ – 8379, – 2,8%).

Зарегистрированный материальный ущерб составляет 18,4 млрд рублей (АППГ – 16,4 млрд, – 12,2%).

На пожарах спасено 28911 человек (АППГ – 31831, – 9,2%), эвакуировано 192990 человек (АППГ – 170967, – 12,9%).

В среднем ежедневно происходило 965 пожаров, на которых погибал 21 человек, получали травмы 22 человека, огнем уничтожалось 141 строение.

Количество погибших на 100 тыс. человек населения – 5,3 человека (АППГ – 5,8), количество травмированных на 100 тыс. населения – 5,6 человека (АППГ – 5,7). Проведение таких исследований представляет практическую ценность и научный интерес [5].

Пожар на Урале произошёл 25 апреля 2023 года в поселке Сосьва и др. Нанесён значительный материальный ущерб. По данным МЧС, огонь быстро распространился из-за порывов ветра и большого количества сухой растительности. В совокупности сгорели 178 строений, включая 134 жилых дома. Без крова остались 659 человек, включая 148 детей.

Правительство РФ в 2021 году выделило МЧС дополнительно 6 млрд руб. на создание и усовершенствование противопожарных центров для закупки наземной и авиационной специальной противопожарной техники [2], которые осваиваются, и на рис. 1 наглядно видна тенденция понижения ущерба в 2022 году.

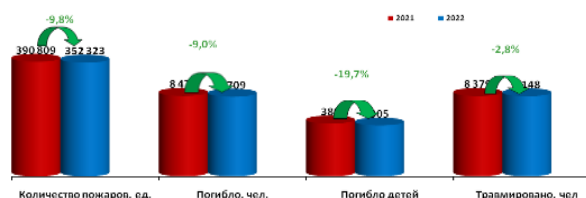


Рис. 1. Схема тенденции нанесения ущерба за 2021 и 2022годы

Цель исследования. Исследование проводилось в первую очередь с целью достижения ресурсосбережения в транспортных технологиях при ликвидации пожаров, снижения размеров ущерба, причинённого пожарами, сохранения

экологической обстановки. Рассмотрены принципы применения новых современных геоинформационных систем ГЛОНАСС при логистическом управлении с общего командного пункта управления. В статье исследуется вопрос оптимизации, повышения эффективности взаимодействия и комплексного использования железнодорожного, авиационного и наземного специального транспорта в труднодоступных районах.

Материалы и результаты исследования. Методы усовершенствования эффективности взаимодействия железнодорожного и других видов специального транспорта в чрезвычайных ситуациях лежат в плоскости сокращения времени на определение варианта и объёма загрузки ЛА, в том числе с помощью предварительно подготовленных расчётов и таблиц при заборе воды из ППХ.

При подготовке к публикации данной научной статьи, которая является продолжением научных статей: «Усовершенствование транспортной технологии ликвидации ЧС в отдалённых и труднодоступных районах», «Взаимодействие авиационного и наземного транспорта при ликвидации ЧС», «Влияние загруженности и дальности поставок на производительность и ресурсосбережение вертолётов МИ-8 МТВ1 в ЧС» [3], был проведен сбор информации, обзор, анализ и исследование в области ресурсосберегающей эксплуатации ПВ Ка-32А1 и современного специального железнодорожного, автомобильного и другого СТ России при взаимодействии различных видов специального транспорта (ВРВСТ) в ликвидации 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]. Повышение эффективности ВРВСТ и управления при пожаротушении – актуальная, перспективная и новая модель в системе ТТ.

ВРВСТ снижает время реагирования на чрезвычайное происшествие в отдалённых труднодоступных местах, а также в промышленных зонах, городских районах мегаполисов с высотными зданиями, в местности со сложным географическим рельефом или с отсутствием подъезда непосредственно к строениям пожарного поезда (ПП) или пожарного автомобиля (АЦ) [2], [3]. Кроме перечисленных выше факторов, представленная модель сохраняет дорогостоящий моторесурс летательного аппарата (ЛА), пожарного вертолёта (ПВ) Ка-32А1 (рис. 2), даёт возможность оперативного и своевременного воздействия на устранение последствий от произошедших ЧС.



Рис. 2. Пожарный вертолет (ПВ) Ка-32А1

Влияние нехватки средств пожаротушения определяет весь процесс своевременного устранения пожара. Невозможно погасить возгорание при нехватке составляющих для устранения ЧС. В связи с этим пожарный поезд (ПП) выступает противопожарным хабом (ППХ), он является ключевым при логистическом взаимодействии железнодорожного, авиационного, специального транспорта и наземной техники. ППХ играет определяющее значение в ресурсосбережении, т.к. даёт возможность сократить время полёта ПВ на тушение пожара, дозаправку водой или топливом после выполнения задачи ЛА, также зарядку или смену аккумулятора беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), дронов «Феникс» (рис. 3) и «SKYF» (рис. 4).



Рис. 3. Разведывательный БПЛА комплекс «Феникс»



Рис. 4. Грузовой беспилотный комплекс пожаротушения «SKYF»

ПП – как разновидность пожарных машин, то есть само понятие «пожарная машина» намного шире, чем пожарный автомобиль, термин «пожарная машина» определяется как передвижная или транспортируемая машина, применяемая на пожаре. Схемы развертывания от пожарного поезда (ПП) (рис. 5).

Схемы боевого развертывания от пожарного поезда:

- а) типичный состав пожарного поезда;
- б) схема развертывания:

- 1 – отсеки хранения материалов для пенообразователя, дегазации, нейтрализации, кальцинированной соды и др.;
- 2 – мотопомпы МП-1600;
- 3 – сухотрубы;
- 4, 6 – соединительные рукава;
- 5 – напорные патрубки (для подачи в линию);

7 – напорные патрубки (для подачи в цистерну);
 8 – лафетный ствол;
 9 – тройник;
 10 – горловина цистерны;
 11 – подача пены;
 12 – магистральная линия;
 13 – подача воды через ручные стволы РС-50, РС-70.

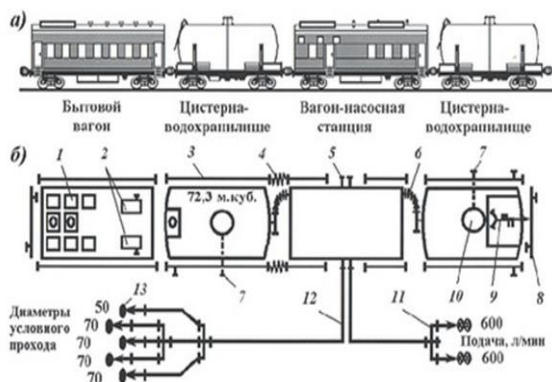


Рис. 5. Схемы развертывания от пожарного поезда:

ПП – это вид пожарной машины, который тактическими характеристиками можно сравнить с маленьким гарнизоном МЧС России, и эти тактические возможности могут быть ограничены только количеством вывозимых сил и средств, которые в свою очередь ничем не лимитированы. При этом локомотив в состав пожарного поезда не входит (для стран СНГ), а «выдается» по тревоге. Вид пожарного поезда «нового поколения» (рис. 6), [4], [6].



Рис. 6. Пожарный поезд «нового поколения»

Новизной статьи является предложенная нами модель транспортных технологий – создание ППХ с мобильной, технически хорошо оснащённой группой взаимодействующих между собой различных видов специального транспорта (железнодорожного, авиационного, наземного).

В состав пожарного поезда «нового поколения» могут войти:

- две или три цистерны с водой;
- вагон с насосной станцией, бытовкой и командным пунктом управления (КПУ) с размещением в бытовом вагоне;
- грузовая железнодорожная платформа (является грузовым вагоном открытого типа) с контейнерами для размещения противопожарного оборудования, робототехникой (установка пенного пожаротушения типа Пурга -100), разведывательного дрона («Феникс»), грузового

пожарного БПЛА («SKYF»). В комплектации спецтехники на ППХ возможны и другие дроны с более усовершенствованными характеристиками, их широкое практическое применение [7] находит место в технологическом процессе разведки и пожаротушения.

При необходимости, в зависимости от сложившейся чрезвычайной обстановки, решением руководства МЧС может быть увеличено количество боевого расчёта, цистерн с водой и железнодорожных платформ для размещения грузовых и разведывательных БПЛА, а также дополнительной специальной наземной техники и пожарной робототехники.

Особенности комплектации ПП приведены на рис. 7, а его тактико-технические характеристики показаны в табл. 1.

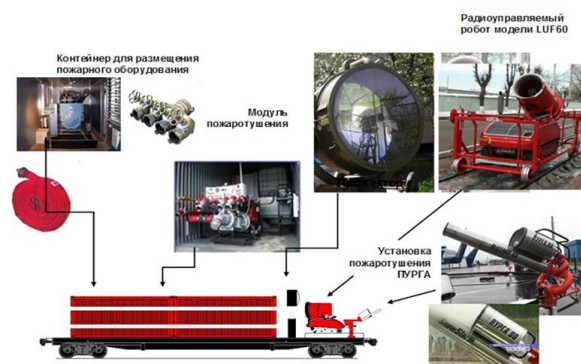


Рис. 7. Комплектация пожарного поезда

Таблица 1

Тактико-технические характеристики пожарных поездов

Основные характеристики	Категория поездов	
	1 категории	2 категории
Ёмкость системы для воды, м ³	72,3 или 50	72,3 или 50
Рукава напорные 51 мм, м	700	500
Рукава напорные 66 мм, м	1000	800
Пенообразователь, л	10000	5000
Боевой расчёт, чел.	7	6
Огнетушители, шт:		
– углекислотные ОУ-5	5	5
– порошковые ОП-5	5	5
– порошковые передвижные ОП-50	5	2
Мотопомпы ММ-27/100 ПН-40/100	2	2

В соответствии с постановкой задачи в состав ППХ хабов могут быть введены топливозаправщик АТЗ-10, автоцистерна пожарная АЦ-7.5-40 на базе автомобиля Урал-4320 [2], [3]. АЦ и АТЗ приступают к устранению ЧС по необходимости после оценки ситуации и целесообразности их применения. Все действия экипажей ЛА, операторов управления робототехникой, личным составом

пожарных расчётов и логистическое управление при взаимодействии ПП со специальной автомобильной техникой координируются КПУ на ППХ. Ка-32А1 работает в маятниковом режиме тушения пожара, с дозаправкой на ППХ средствами тушения пожара, а при необходимости и пополнением горючего для ЛА. Управление созданной группировкой осуществляется путём использования современных радиотехнических и геоинформационных систем (ГИС) ГЛОНАСС из КПУ, размещенном в ППХ, предлагаемая нами модель ВРВСТ (рис. 8).

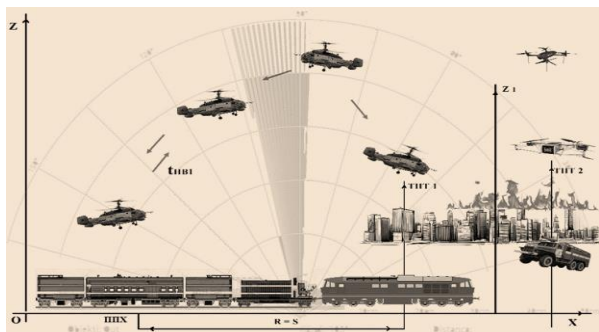


Рис. 8. Модель ВРВСТ и КПУ при пожаротушении:

ОХ – горизонт нулевой площадки ППХ;
ОZ (ОZ1) – вертикаль поднятия ПВ и дрона на высоту пожаротушения и для разведки ЧС;
ППХ – пожарный поезд;
ТПТ1 (ТПТ2) – точки пожаротушения ПВ (БПЛА соответственно);
 $t_{нв1}$ – время набора оптимальной высоты ПВ для пожаротушения;
 $R(s)$ – радиус действия вертолёта Ка –32А1 (дальность до очага пожара) в маятниковом режиме.

Располагая информацией о характере пожара и его удалением от ППХ, рекомендуется использование номограммы зависимости удельного расхода топлива Ge^{**} (кг/ткм) ПВ при доставке 1 т груза (воды, топлива) на расстояние 1 км пути от массы груза qg (кг) и дальности S (км) (рис. 9). Эта рекомендация выдана с целью оптимизировать и ускорить процесс пожаротушения в режиме цейтнота. В номограмме, кроме удельного расхода топлива ПВ, по поверхности отклика упрощённо определяются величины для очередной загрузки ПВ водой и (или) топливом на ППХ, т.к. существует прямая зависимость заправки вертолёта топливом от загрузки водой, потому что взлётная масса ПВ ограничена.

Актуальность направлений исследования продиктована необходимостью достижения ресурсосбережения, безопасности и экологичности в транспортно-технологических и логистических системах, экономией материальных средств, сохранением моторесурса ПВ, оптимизацией процесса для ускорения устранения пожаров (ЧС) в труднодоступных районах.

Кроме перечисленного выше, актуален факт глобальных изменений, а это увеличение количества масштабных пожаров и техногенных происшествий,

которые наносят государству и гражданам России значительный материальный ущерб, разрушают социально-бытовую инфраструктуру, нарушают условия жизнедеятельности людей и самое главное – подвергают опасности жизни и здоровье людей.

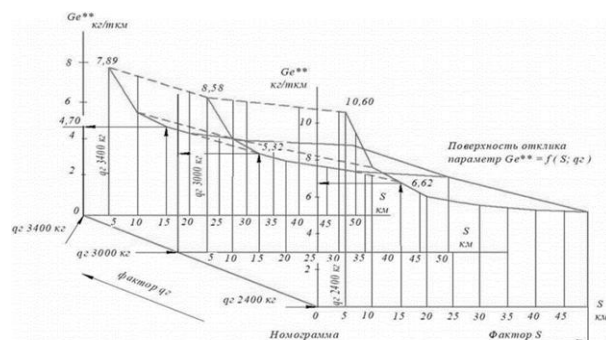


Рис. 9. Номограмма зависимости удельного расхода топлива ПВ Ка-32А1

Выводы. 1. Новизной в статье «Усовершенствование взаимодействия и увеличение эффективности железнодорожного и других видов специального транспорта в чрезвычайных ситуациях» является предложенная нами модель транспортных технологий – создание ППХ с мобильной, технически хорошо оснащённой группой взаимодействующих между собой различных видов специального транспорта (железнодорожного, авиационного, наземного).

2. Рассмотрены принципы применения новых современных геоинформационных систем ГЛОНАСС при логистическом управлении с общего командного пункта управления.

3. Актуальность направлений исследования продиктована необходимостью достижения ресурсосбережения, безопасности и экологичности в транспортно-технологических и логистических системах, экономией материальных средств, сохранением моторесурса ПВ, оптимизацией процесса для ускорения устранения пожаров (ЧС) в труднодоступных районах.

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. Андреев А.А., Сингеев А.В., Петров А.Г. Усовершенствование транспортной технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций в отдаленных и труднодоступных районах // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2021. – № 6 (48). – С. 22-28.
3. Андреев А.А., Сингеев А.В. Влияние загруженности и дальности поставок на производительность и ресурсосбережение вертолётов МИ-8 МТВ1 в ЧС // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2022 № 7 (61). – С. 17-22.
4. ГОСТ 12.2.047-86 «Пожарная техника. Термины и определения», «Классификация мобильных средств

пожаротушения». – М.: Издательство стандартов, 1986. – 3 с.

5. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году». – М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. – 264 с.

6. Пожарный поезд // Железнодорожный транспорт: Энциклопедия / Гл. ред. Н. С. Конарев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. [Электронный ресурс] // fireman.club – Режим доступа: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/pozharnye-poezda-vidy-kharakteristiki-pozharnyx-poezdov>.

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

Andreev A.A., Singeev A.V., Budikov L. Ya, Zakharchuk A. S.

IMPROVING INTERACTION AND INCREASING THE EFFICIENCY OF RAILWAY AND OTHER TYPES OF SPECIAL TRANSPORT IN EMERGENCY SITUATIONS

The article is devoted to the relevance of solving the problem of emergency situations, resource conservation in transport technologies in the elimination of fires, preservation of the ecological situation. The principles of application of new modern geoinformation systems GLONASS in logistics management from a common command control point are considered. The article raises the issue of optimizing and improving the efficiency of interaction between railway, aviation and ground special transport in hard-to-reach areas.

Key words: railway transport, fire truck, special equipment, special transport, fire-fighting hubs, emergency, ecology, unmanned aerial vehicle, drones, command post, fire helicopter, GLONASS, Ministry of Emergency Situations.

Андреев Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: umtl_snu@mail.ru

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

Сингеев Андрей Васильевич, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: andrey76singeev@gmail.com

Singeev Andrey, senior lecturer of the «Transport Technologies» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Будиков Леонид Яковлевич, д.т.н., профессор кафедры «Аварийно-спасательные работы», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: leonidbudikov@yandex.ru

Budikov Leonid, professor of the department of “Emergency Rescue Work”, Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Захарчук Александр Сидорович, профессор кафедры «Электротехнические системы электропотребления», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: kaf_energo_sys@mail.ru

Zakharchuk Alexander, professor of the department of “Electrical engineering systems of power consumption”, Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 27.04.2023

УДК 622.284.54-822:621.6.035.004.55

НОВАЯ РАБОЧАЯ ЖИДКОСТЬ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

Антипов И. В., Коструб В. А.

NEW WORKING FLUID FOR MECHANIZED SUPPORT

Antipov I. V., Kostrub V. A.

Статья посвящена созданию и испытанию новой рабочей жидкости для механизированных крепей очистных забоев угледобывающих шахт. «Средство универсальное порошкообразное технологическое гидравлическое (СУПТ-Г)», которое разработано предприятием «Холдинг-Центр» в г. Донецке. СУПТ-Г представляет собой смесь химических веществ в виде однородного порошка белого цвета с размером гранул не более 4 мм и насыпной плотностью 0,8 кг/дм³. Антикоррозионные свойства СУПТ-Г обеспечивают органические и неорганические соли, смазывающие – поверхностно-активные вещества и водорастворимые полимеры, защиту от биологического поражения осуществляют антибактерицидные добавки. Экономия на одной тонне рабочей жидкости при переходе на применение СУПТ-Г составляет 895 руб.

Ключевые слова: рабочая жидкость, гидросистема, механизированная крепь

Введение. Проблема создания рабочих жидкостей для гидравлических крепей приобрела в настоящее время особую актуальность ввиду усложнения механизмов управления гидросистемами [1-3]. Одна из новых разработок в этой области – «Средство универсальное порошкообразное технологическое гидравлическое (СУПТ-Г)», которое разработано предприятием «Холдинг-Центр» в г. Донецке.

СУПТ-Г представляет собой смесь химических веществ в виде однородного порошка белого цвета с размером гранул не более 4 мм и насыпной плотностью 0,8 кг/дм³.

Антикоррозионные свойства СУПТ-Г обеспечивают органические и неорганические соли, смазывающие поверхностно-активные вещества и водорастворимые полимеры, защиту от биологического поражения осуществляют антибактерицидные добавки.

Водный раствор 0,5% СУПТ-Г представляет собой прозрачную однородную жидкость зеленоватого цвета плотностью 1,05-1,08 г/см³ и вязкостью от 1,1 до 1,3. Раствор выдерживает нагрев до 90° С, при замораживании и размораживании сохраняет свои свойства. Для приготовления раствора может применяться вода с жесткостью до

30 мг-экв/л и температурой от 10 до 70° С. Раствор 0,5% СУПТ-Г может использоваться в качестве рабочей жидкости во всех типах механизированных крепей и выемочных агрегатов, работающих в угольных шахтах с положительными температурами, а также в качестве охлаждающей жидкости на машиностроительных заводах и ремонтных предприятиях.

Цели. Цели шахтных испытаний водного раствора СУПТ-Г:

- определение технико-экономической эффективности применения новой рабочей жидкости в гидросистемах механизированных крепей в шахтных условиях;
- оценка эксплуатационных характеристик концентрата и водного раствора СУПТ-Г на основе фактических данных, полученных при испытаниях;
- подтверждение результатов лабораторных испытаний водного раствора 0,5% СУПТ-Г;
- установление целесообразности широкого применения водного раствора СУПТ-Г в угольной промышленности.

Задачи. Задачи, решаемые в ходе приемочных испытаний, включали в себя:

- проверку легкости приготовления водного раствора СУПТ-Г в производственных условиях;
- проверку стабильности раствора СУПТ-Г в процессе эксплуатации гидросистемы крепи;
- проверку антикоррозионных свойств раствора;
- проверку защитных свойств раствора в процессе механического износа рабочих поверхностей деталей гидрооборудования;
- проверку влияния раствора на резиновые уплотнения, рукава и пластмассовые детали гидрооборудования;
- определение фактического расхода раствора СУПТ-Г.

Шахтные испытания. Испытания СУПТ-Г проводились на шахте им. А.А. Скочинского. Горно-геологические и горнотехнические условия испытаний представлены в табл. 1.

Для приготовления раствора использовалась водопроводная вода без предварительной подготовки с pH от 6,5 до 8 и жесткостью до 13 мг-экв/л.

Порошок СУПТ-Г поступал на шахту от изготовителя в полипропиленовых мешках массой по 50 кг несколькими партиями. Всего было использовано 4700 кг порошка.

Приготовление раствора СУПТ-Г по сложности сравнимо с приготовлением эмульсии на основе ВМГЗ [4]. Рабочая жидкость в виде водного раствора 0,5% СУПТ-Г приготавливалась централизованно для всех очистных забоев на специальной установке, включающей в себя емкость, в которую опущен коллектор с рядом отверстий, направленных в сторону днища. Коллектор подключен к линии со сжатым воздухом. В баке приготавливается концентрированный 10% раствор СУПТ-Г. Этот раствор при помощи насоса перекачивается в верхний бак со стеклянным указателем уровня, по которому можно судить о количестве раствора, перелитого в нижний бак с водой, поступающей из водопроводной сети. Количество воды контролируется по указателю уровня, имеющему соответствующую градуировку.

Таблица 1

Горногеологические и горнотехнические условия испытания

Условия испытаний	Показатели				
1. Номер участка	3	1	6	2	8
2. Наименование лавы	1 запад.	8 вост.	2 вост.	15 вост.	6 вост.
	Центральной панели			Восточной панели	
3. Пласт	h_0	h_6	h_6	h_6	h_0
4. Мощность пласта, м	1,7	1,7	1,3	1,3	1,3
5. Угол падения пласта, град	9	8	2-20	9	9
6. Тип механизированной крепи	ЗКД90	ЗКД90	2КД90	1М88	1МТ1.5
7. Тип насосной станции	СНТ32/20				
8. Длина лавы, м	200	148	200	140	200
9. Расстояние от насосной станции до лавы, м	100	110	100	100	110
10. Режим работы	3 добычных, 1 ремонтная смена. Через каждые три дня сотрясательное взрывание, 2 добычных и 1 ремонтная смена				

После перелива концентрированного раствора из верхнего бака в нижний включается центробежный насос, всасывающая и напорная линии которого соединены с нижним баком, и производится перемешивание концентрата с водой до получения однородного раствора с 0,5% СУПТ-Г. Готовая рабочая жидкость сливается в трубу, по которой поступает на нижний горизонт шахты,

откуда развозится в цистернах к насосным станциям механизированных крепей.

Раствор СУПТ-Г совместим с эмульсией ВМГЗ. Остатки последней при переходе на работу с применением раствора не вызывают разложения раствора и появления сгустков, нарушающих нормальную работу гидросистем крепей. СУПТ-Г обладает моющей способностью, что приводит к вымыванию загрязнений и продуктов разложения эмульсии из гидросистемы.

СУПТ-Г обладает хорошими противокоррозионными свойствами. На поверхностях стальных деталей с покрытиями и без них, омываемых рабочей жидкостью, ржавчина в ходе испытаний не появлялась. На поверхностях извлеченных из крепи элементов гидрооборудования при высыхании раствора остается тонкая защитная пленка, препятствующая коррозии.

При испытаниях не было случаев повышенного износа рабочих деталей гидрооборудования, что свидетельствует о смазочных и защитных от механического износа свойствах СУПТ-Г. Отрицательного влияния раствора СУПТ-Г на геометрические размеры и стойкость резиновых уплотнений, рукавов высокого давления и деталей из пластмассы не зафиксировано.

Каких-либо специфических отказов гидрооборудования при работе с применением раствора СУПТ-Г, отличных от отказов при применении масла ВМГЗ, не зафиксировано. Поток обычных отказов также не увеличился.

Жалоб персонала, управляющего крепью и производящего ремонтные работы, на вредное воздействие раствора СУПТ-Г на кожные покровы, слизистые оболочки и верхние дыхательные пути не поступало.

Водный раствор с 0,5% СУПТ-Г по стабильности и стойкости к бактериальному поражению и по защитным антикоррозионным свойствам превосходит ВМГЗ. Для приготовления раствора не требуется специальная водоподготовка для умягчения и нейтрализации воды.

Порошок СУПТ-Г по удобству хранения и транспортировки превосходит ВМГЗ. Результаты промышленных испытаний СУПТ-Г приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты промышленных испытаний СУПТ-Г

Наименование показателей	Величина показателей				
Номер участка	3	1	6	2	8
Тип мехкрепи	ЗКД90	ЗКД90	2КД90	1М88	1МТ135
Подвигание забоя, м	80	124	76	26	70
Добыча угля, т	53725	69978	40226	9953	36293
Средний суточный расход раствора СУПТ-Г, л	2600	1600	1600	3800	5580

Во время испытаний раствора СУПТ-Г шахтой было добыто 210175 тонн угля. Средний расход

0,5% раствора СУПТ-Г составил 15180 литров в сутки, для изготовления которого требуется 75,9 кг порошка СУПТ-Г. Средний расход 0,5% раствора СУПТ-Г на 1 тонну угля при фактической средней добыче угля 2220 т в сутки составляет 6,83 литра, или 0,034 кг порошка СУПТ-Г.

Выводы. Положительный экономический эффект от применения раствора СУПТ-Г получен за счет лучшей защиты гидрооборудования мехкрепей от коррозии, уменьшения концентрации и объемов потребления в 6 раз, снижения транспортных расходов на доставку СУПТ-Г и расходов на водоподготовку.

При цене порошка СУПТ-Г 289 руб. за 1 кг и масла гидравлического ВМГЗ 78 руб. за 1 кг [4] стоимость одной тонны рабочей жидкости СУПТ-Г составляет 1445 руб., а масла ВМГЗ – 2340 руб.

Экономия на одной тонне рабочей жидкости при переходе на применение СУПТ-Г составляет 895 руб.

Л и т е р а т у р а

1. Балабышко А.М. Современные методы приготовления и регенерации рабочих жидкостей механизированных крепей очистных забоев / А.М.Балабышко, В.П. Ружицкий, В.Н. Старцев, А.Н. Ракитин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – № 12. – С. 167-170. – Текст: непосредственный.

2. Гетопанов В.Н. Влияние дисперсного состава рабочей жидкости гидросистем механизированных крепей на ее смазывающую способность / В.Н. Гетопанов, Л.А. Омеличкина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1999. – № 8. – С. 160. – Текст: непосредственный.

3. Ружицкий В.П. Гидромеханическое диспергирование рабочих жидкостей механизированных крепей: внедрение эффективных диспергирующих горных машин и технологий / В.П. Ружицкий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – № 4. – С. 48. – Текст: непосредственный.

4. Масло гидравлическое ВМГЗ. – URL: https://ufa.pulscen.ru/products/maslo_gidravlicheskiye_vmgz_23501589 (дата обращения: 03.02.2023). – Текст: изображение.

Antypov I.V., Kostrub V.A.

NEW WORKING FLUID FOR MECHANIZED SUPPORT

The article is devoted to the creation and testing of a new working fluid for mechanized supports of treatment faces of coal mines. "Universal powdered technological hydraulic tool (SUPT-G)", which was developed by the Holding Center enterprise in Donetsk. SUPT-G is a mixture of chemicals in the form of a homogeneous white powder with a granule size of no more than 4 mm and a bulk density of 0.8 kg/ dm³. The anticorrosive properties of SUPT-G are provided by organic and inorganic salts, lubricating surfactants and water-soluble polymers, protection from biological damage is carried out by antibacterial additives. The positive economic effect of using the SUPT-G solution was obtained due to better protection of hydraulic equipment of mechanical fasteners from corrosion, reduction of concentration and consumption volumes by 6 times, reduction of transport costs for the delivery of SUPT-G and water treatment costs. The savings on one ton of working fluid when switching to the use of SUPT-G is 895 RU.

Key words: working fluid, hydraulic systems, mechanized support.

Антипов Игорь Владиславович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Подъемно-транспортная техника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: iantypov@ukr.net

Antipov Igor, Dr. Sci. (Eng.), professor of the Department «Lifting and transport equipment» Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Коструб Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортная техника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: vkostrub@mail.ru

Kostrub Vladimir, candidate of technical Sciences, Associate Professor of the Department "Lifting and transport equipment", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Статья подана 13.04.2023

УДК 621.43

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЯ С КАСКАДНЫМ СЖАТИЕМ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

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

DESIGN FEATURES OF THE ENGINE WITH CASCADE COMPRESSION OF THE WORKING ENVIRONMENT

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

Работа посвящена исследованию использования каскадного обменника давления (КОД) в качестве базового агрегата двигателя внутреннего сгорания. Изложены результаты предварительных исследований характеристик двигателя каскадного сжатия (ДКС). Приведены варианты конструкции и методы улучшения характеристик ДКС рабочей среды. Повышение КПД ДКС реализуется за счет снижения газодинамических потерь потока на входе в массообменные каналы и выходе рабочего тела из массообменных каналов. Увеличение доли полезно используемой потоковой субстанции в массообменных каналах способствует дополнительному повышению предварительного сжатия заряда без увеличения количества подведенной теплоты. Разработаны два варианта конструкции соплового аппарата ДКС.

Ключевые слова: каскадный обменник давления, каскадное сжатие, двигатель, сопловой аппарат.

Введение. Применением принципа каскадного обмена давлением возможно улучшить показатели тепловых машин различного назначения путем реализации сжатия газозвушных сред в рабочем цикле установки [1, 2]. Такой вид сжатия осуществляют каскадные обменники давления (КОД), которые представляют собой обменники давления со статическим характером взаимодействия между сжимающей и сжимаемой средами. КОД имеют высокое КПД (до 85...87%) рабочего цикла и незначительную нечувствительность к удалению эксплуатационного режима от расчетных условий. В КОД реализуется значительное превышение расхода сжимаемой среды относительно сжимающей среды, тем в большей степени, чем выше температура последней. Отмеченное «умножение расхода» позволяет создавать на базе КОД принципиально новые устройства теплопреобразующих машин широкого назначения: тепловые компрессоры и генераторы газа, газотурбинные двигатели, системы воздухообеспечения двигателей, двигатели каскадного сжатия (ДКС) (рис. 1-3).

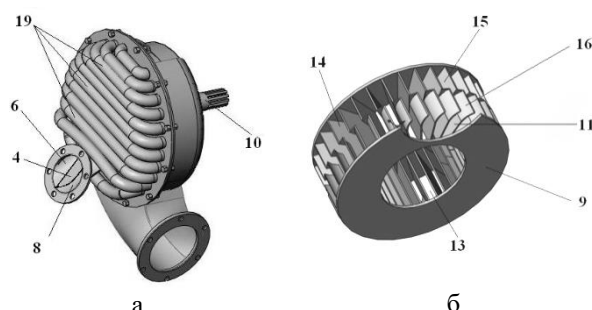


Рис. 1. Двигатель каскадного сжатия:
а – общий вид; б – ротор

Постановка задачи. Основная задача – показать перспективность использования КОД в качестве базового агрегата двигателя и повышения КПД преобразования энергии горячих газов в располагаемую работу сжимаемого заряда и преобразования энергии расширяющихся продуктов сгорания в полезную работу крутящего момента двигателя.

Методы решения. На кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» ЛГУ им. В. Даля предложена конструкция ДКС, базирующаяся на следующих особенностях рабочего цикла:

1. Сжатие свежей смеси происходит в результате рекуперативного использования энергии расширяющейся среды в процессе каскадного массообмена между смежными объемами участков расширения и сжатия, что обеспечивает возможность увеличения повышения степени предварительного сжатия смеси и способствует увеличению термического КПД цикла.

2. Истечение большей части реактивных струй осуществляется в массообменные каналы статора. Снижение перепадов давлений в реактивных соплах до подкритического уровня сопровождается уменьшением потерь затопления струи. При этом остаточная энергия реактивной струи, не преобразованная в работу, не теряется, поскольку полезно используется в виде энергетической среды в массообменных каналах, способствуя

дополнительному повышению предварительного сжатия заряда без увеличения количества подведенной теплоты.

3. Топливо-воздушная смесь в конце процесса сжатия сосредотачивается в локальном объеме со стороны источника воспламенения, частично смешивается с горячими газами и подогревается от стенок ячеек, создаются благоприятные условия для своевременного сгорания бедных смесей, например, природного метана.

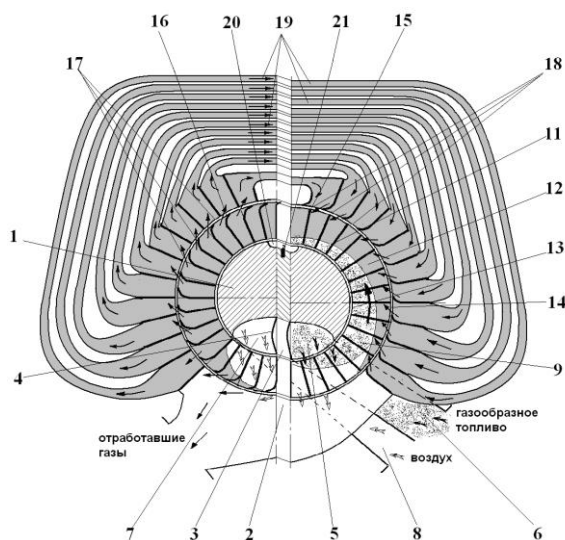


Рис. 2. Принципиальная схема ДКС [3]

ДКС содержит статор 1, на внутренней цилиндрической поверхности которого размещено окно 2 отвода газов, а на наружной цилиндрической поверхности – окно 3 подвода топливоздушной смеси, разделенное перегородкой 4 на сектор 5, сообщенный с каналом 6 подвода горючей смеси и сектор 7 – с каналом 8 подвода воздуха из атмосферы, ротор 9 с валом 10 отбора мощности, снабженный перегородками 11, образующими напоробменные ячейки 12 с входными 13 и выходными 14 сечениями, соответственно расположенными на его внутренней и наружной поверхности. Часть каждой из перегородок 11 со стороны наружной цилиндрической поверхности ротора 9 разделена на два лепестка, первый 15 лежит в одной плоскости с нижней частью перегородки 11, другой 16 загнут в направлении, противоположном вращению ротора 9. На внутренней цилиндрической поверхности статора 1 по обе стороны от окна 2 отвода газов размещен ряд входных 17 и выходных 18 окон, попарно сообщенных между собой симметрично относительно окна 2 отвода газов посредством массообменных каналов 19, окна 17, расположенные по одну сторону окна 2 отвода газов, охватывают часть ротора 9 с изогнутыми лепестками 16, окна 18, расположенные по другую сторону окна 2 отвода газов, по крайней мере охватывают часть ротора 9 с

плоскими лепестками 15. На наружной цилиндрической поверхности статора 1 оппозитно окну 3 подвода топливоздушной смеси выполнено углубление 20 с размещенным в нем источником воспламенения смеси 21.

ДКС работает следующим образом. При вращении ротора 9 каждая из ячеек 12, заключенная между перегородками 11, наполненная предварительно сжатой топливоздушной смесью и сжимающимися газами, сообщается с углублением 20 статора 1, где в результате подачи искры источником воспламенения 21 формируется фронт пламени, распространяющийся вдоль ячейки, в локальной области сосредоточения горючей смеси. В результате выгорания топлива давление и температура газов в ячейке 12 повышаются. В процессе дальнейшего вращения ротора 9 при сообщении рассматриваемой ячейки 12 с входными окнами 17 горячие газы, омывая загнутые лепестки 16 перегородок 11, истекают в массообменные каналы 19 под острым углом к вектору окружной скорости, вследствие чего создается основной крутящий момент двигателя. По мере истечения газов в массообменные каналы 19 давление в ячейке 12 уменьшается и в момент, предшествующий подключению ячейки 12 к окну 2 отвода газов, в ней сохраняется некоторое остаточное давление, превышающее атмосферное. При этом в каждом массообменном канале 19 устанавливается свое избыточное давление с максимальным значением в канале 19, расположенном непосредственно у источника подвода теплоты, и минимальным – в канале, расположенном непосредственно у окна 2 отвода газов. Благодаря этому перепад давлений в выходном сечении 14 ячейки 12 при ее сообщении с каждым из массообменных каналов 19 не превышает надкритического (сверхзвукового) уровня, что обеспечивает снижение потерь затопления реактивной струи и в конечном счете повышение к.п.д. двигателя.

При сообщении ячейки 12 с окном 2 отвода газов горячие газы с избыточным давлением, омывая лепестки истекают из выходных отверстий 14 под острым углом в атмосферу, вследствие чего создается дополнительный крутящий момент реактивного истечения струи. В момент, когда давление в ячейке 12 приближается к атмосферному, последняя своим входным отверстием 13 первоначально сообщается с сектором 7 окна 3 подвода топливоздушной смеси. Атмосферный воздух под действием разряжения, создаваемого центробежными силами, через канал 8 поступает в ячейку 12, замещая выходящие через окно 2 отвода газов отработавшие газы. Далее в процессе вращения ротора 9 ячейка 12 сообщается с сектором 5, что сопровождается поступлением в ячейку 12 горючей смеси через канал 6 подвода горючей смеси. Благодаря разделению перегородкой 4 потоков свежего заряда в процессе продувки ротора 9 исключаются утечки

горючей среды через окно 2 отвода газов, поскольку замещение отработавших газов в ячейке 12 осуществляется непосредственно атмосферным воздухом, первичная порция которого выполняет функции транзитной среды. После разобшения с окнами 2 и 3 одна часть объема ячейки 12 заполнена воздухом, другая, большая – горючей смесью.

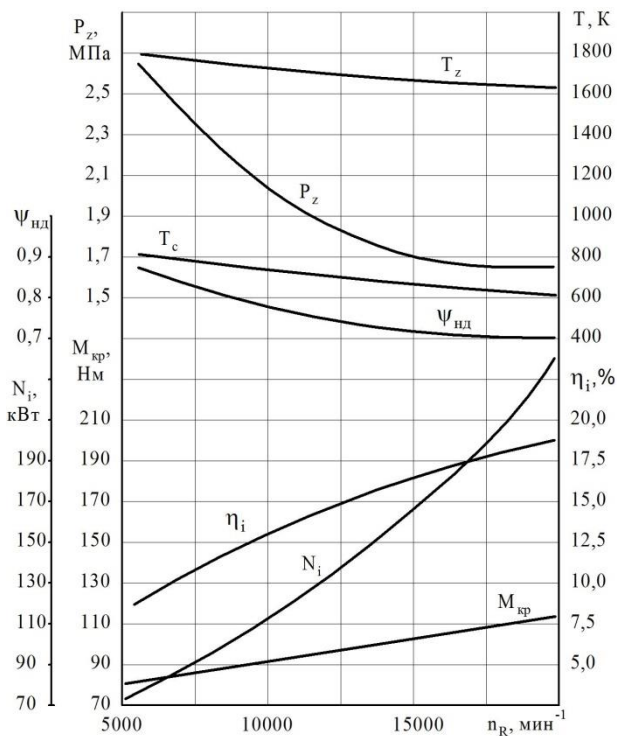


Рис. 3. Скоростная характеристика ДКС

В процессе дальнейшего вращения ротора 9 рассматриваемая ячейка 12 своим выходным отверстием 14 последовательно сообщается с выходными окнами 18 массообменных каналов 19, охватывающими часть ротора 9 с плоскими лепестками 15, в результате чего в нее поступают газы из смежных относительно каждого из каналов 19 ячеек. Давление и температура газов в ячейке 12 повышаются. Таким образом, предварительное сжатие свежего заряда в ячейках осуществляется за счет энергии расширения газов в смежных ячейках 12 ротора 9 в процессе прямого каскадного массообмена рабочих сред в индикаторном цикле двигателя. В момент, предшествующий сообщению ячейки 12 с углублением 20 источника воспламенения 21, большая часть ее объема заполнена сжимающими газами, в то время как горючая смесь сосредотачивается в периферийной зоне ячейки 12, со стороны размещения источника воспламенения 21. В процессе предварительного сжатия рабочего тела горючая смесь в ячейке 12 дополнительно подогревается за счет контакта со сжимающей средой и теплообмена с перегородками 11. Благодаря этому, а также локализации горючей среды в зоне контакта с источником воспламенения

21 обеспечиваются благоприятные условия для своевременного выгорания топлива, в том числе – обедненного природного газа (метана).

Протекание рассмотренного цикла во всех ячейках 12 ротора 9 в своей совокупности обеспечивает непрерывный рабочий процесс двигателя с передачей крутящего момента к валу отбора мощности 10 [3].

Одним из важных этапов конструирования ДКС является решение вопроса уплотнения газового стыка ротора со статором (рис. 4, 5). В процессе выхода ДКС на установившийся режим работы прогрев отдельных элементов конструкции происходит с различной интенсивностью (неравномерно).

Часть ротора, ограничивающая ячейки ротора, прогревается наиболее интенсивно вследствие непосредственного контакта с горячими отработавшими газами (и малой толщины материала стенок). Однако данный способ негативно отражается на эффективности работы двигателя в целом, поскольку при этом значительно возрастают утечки рабочего тела через зазор.

При этом сопрягаемая с ячейками часть статора с каналами прогревается менее интенсивно. Соответственно термическое расширение материала ротора на указанном этапе происходит на большую величину, чем материала статора. Следовательно возникает риск уменьшения зазора до критического уровня вплоть до контактного трения.

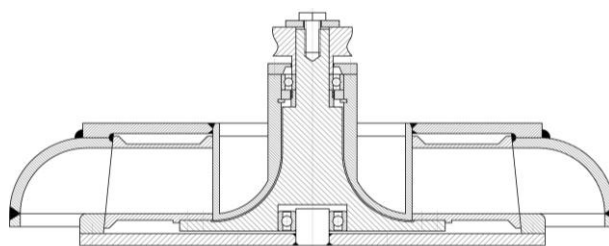


Рис. 4. Конструкция двигателя каскадного сжатия в разрезе

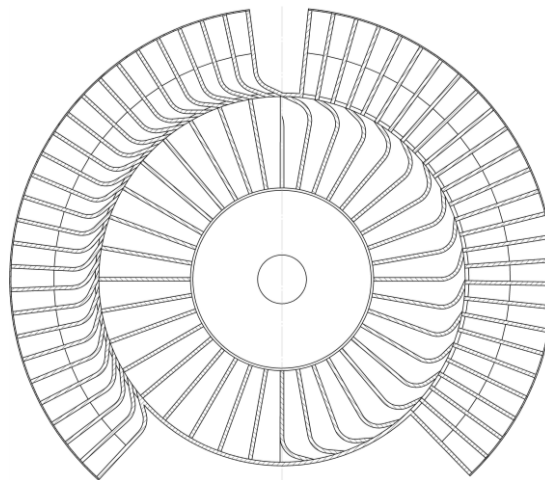


Рис. 5. Поперечный разрез ДКС в области массообменных каналов

Для предотвращения риска выхода ДКС из строя необходимо предусмотреть достаточный зазор между указанными элементами ДКС или иные конструктивные мероприятия для регулирования зазора. Конструктивно более простым способом решения поставленной задачи является исполнение механизма ДКС с зазором между ротором и статором такой величины, при которой на любом из возможных режимов работы ДКС исключается возможность контактного трения (рис. 6, 7).

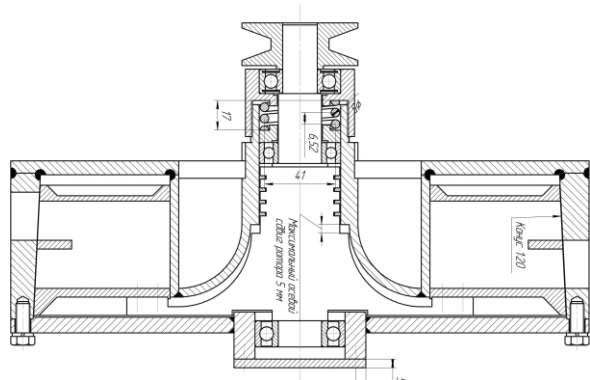


Рис. 6. Конструкция центральной части ДКС с регулируемым конусным уплотнением газового стыка ротора и статора в разрезе

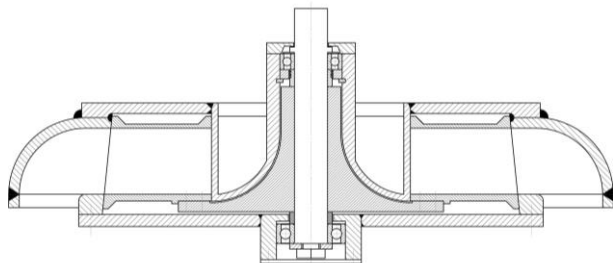


Рис. 7. Вариант исполнения подшипникового узла в простой конструкции ДКС

С целью компенсации неравномерности расширения деталей в процессе прогрева отдельных элементов ДКС и поддержания зазора между ротором и статором на минимально необходимом уровне применена система осевого сдвига ротора (рис. 8).

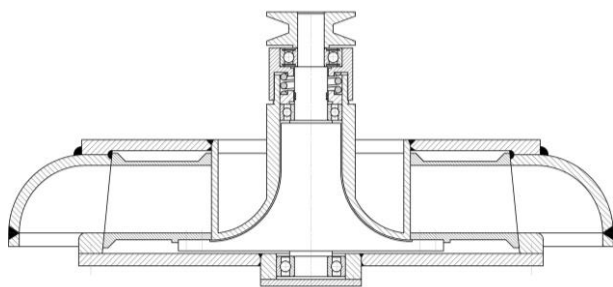


Рис. 8. Исполнение подшипникового узла в конструкции ДКС с регулированием зазора между ротором и статором

Данная система позволяет (в том числе автоматически) путем поворота рычага сдвигать ротор в осевом направлении на расчетную величину, используя в качестве управляющего сигнала температуру элементов конструкции ДКС в ключевых точках.

Возможно повышение КПД двигателя путем снижения газодинамических потерь потока на входе в массообменные каналы и выходе рабочего тела из массообменных каналов и тем самым увеличение доли полезно используемой потоковой субстанции в массообменных каналах, что способствует дополнительному повышению предварительного сжатия заряда без увеличения количества подведенной теплоты.

На кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» ЛГУ им. В. Даля разработаны два варианта конструкции соплового аппарата ДКС (рис. 9, 10) [3].

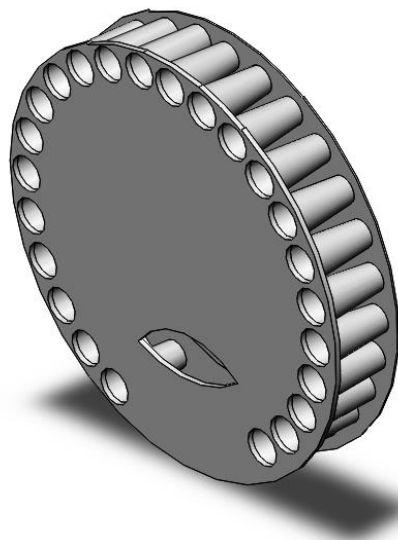


Рис. 9. Конусообразный сопловой аппарат ДКС

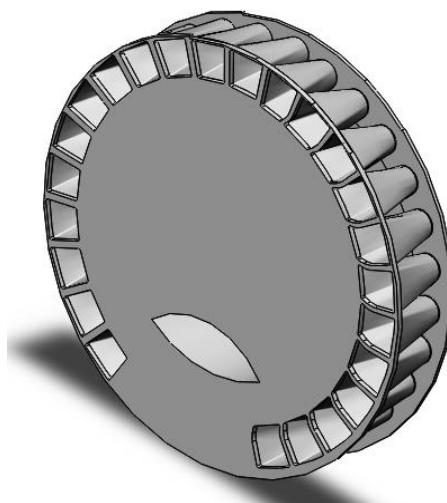


Рис. 10. Пирамидальный сопловой аппарат ДКС

ДКС с сопловым аппаратом работает следующим образом. При вращении ротора 9 (рис. 11) каждая из ячеек 11, заключенная между перегородками 10, наполненная предварительно сжатой топливовоздушной смесью и сжимающими газами, сообщается с углублением 19 статора 1, где в результате подачи искры источником воспламенения 20 формируется фронт пламени, распространяющийся вдоль ячейки, в локальной области сосредоточения горючей смеси.

В результате выгорания топлива давление и температура газов в ячейке 11 повышаются. В процессе дальнейшего вращения ротора 9 при сообщении рассматриваемой ячейки 11 с входными окнами 16, горячие газы, омывая загнутые лепестки 15 перегородок 10, проходя через конфузоры 21 истекают в массообменные каналы 19 под острым углом к вектору окружной скорости, вследствие чего создается основной крутящий момент двигателя.

По мере истечения газов в массообменные каналы 18 давление в ячейке 11 уменьшается, и в момент, предшествующий подключению ячейки 11 к окну 2 отвода газов, в ней сохраняется некоторое остаточное давление, превышающее атмосферное. При этом в каждом массообменном канале 18 устанавливается свое избыточное давление с максимальным значением в канале 18, расположенным непосредственно у источника воспламенения 20, и минимальным – в канале 18, расположенным непосредственно у окна 2 отвода газов.

Благодаря этому перепад давлений в выходном сечении 13 ячейки 11 при ее сообщении с каждым из массообменных каналов 18 не превышает надкритического (сверхзвукового) уровня, что обеспечивает снижение потерь затопления реактивной струи.

При сообщении ячейки 11 с окном 2 отвода газов горячие газы с избыточным давлением, омывая лепестки, истекают из выходных отверстий 13 под острым углом в атмосферу, вследствие чего создается дополнительный крутящий момент реактивного истечения струи.

В момент, когда давление в ячейке 11 приближается к атмосферному, последняя своим входным отверстием 12 первоначально сообщается с сектором 7 окна 3 подвода топливовоздушной смеси. Атмосферный воздух под действием разряжения, создаваемого центробежными силами, через канал 8 поступает в ячейку 11, замещая выходящие через окно 2 отвода газов отработавшие газы. Далее в процессе вращения ротора 9 ячейка 11 сообщается с сектором 5, что сопровождается поступлением в ячейку 11 горючей смеси через канал 6 подвода горючей смеси. Благодаря разделению перегородкой 4 потоков свежего заряда в процессе продувки ротора 9 исключаются утечки горючей среды через окно 2 отвода газов, поскольку замещение отработавших газов в ячейке 11

осуществляется непосредственно атмосферным воздухом, первичная порция которого выполняет функции транзитной среды. После разобшения с окнами 2 и 3 одна часть объема ячейки 11 заполнена воздухом, другая, большая – горючей смесью.

В процессе дальнейшего вращения ротора 9 рассматриваемая ячейка 11 своим выходным отверстием 13 последовательно сообщается с выходными окнами 17 массообменных каналов 18, охватывающими часть ротора 9 с плоскими лепестками 14, в результате чего в нее поступают газы из смежных относительно каждого из каналов 18 ячеек, при этом газы предварительно проходят через диффузоры 22. Давление и температура газов в ячейке 11 повышаются.

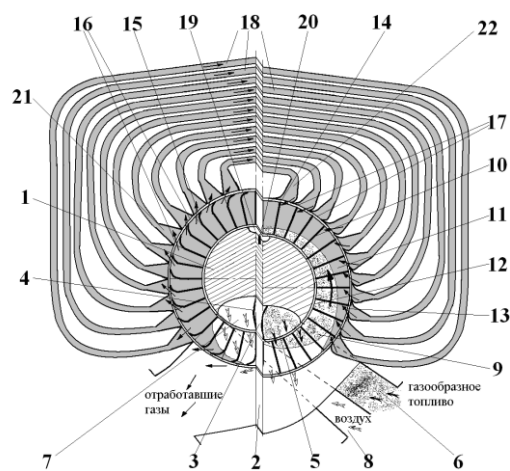


Рис. 11. Схематический разрез ДКС в радиальной плоскости по прямой и скругленной части перемычек ротора [4]

Таким образом, предварительное сжатие свежего заряда в ячейках осуществляется за счет энергии расширения газов в смежных ячейках 11 ротора 9 в процессе прямого каскадного массообмена рабочих сред в индикаторном цикле двигателя. В момент, предшествующий сообщению ячейки 11 с углублением 19 источника воспламенения 20, большая часть ее объема заполнена сжимающими газами, в то время как горючая смесь сосредотачивается в периферийной зоне ячейки 11, со стороны размещения источника воспламенения 20. В процессе предварительного сжатия рабочего тела горючая смесь в ячейке 11 дополнительно подогревается за счет контакта со сжимающей средой и теплообмена с перегородками 10. Благодаря этому, а также локализации горючей среды в зоне контакта с источником воспламенения 20 обеспечиваются благоприятные условия для своевременного выгорания топлива, в том числе – обедненного природного газа (метана).

Протекание рассмотренного цикла во всех ячейках 11 ротора 9 в своей совокупности обеспечивает непрерывный рабочий процесс двигателя со снятием крутящего момента с ротора 9 через вал отбора мощности.

Существенного влияния на характеристики рабочего цикла тип соплового аппарата не оказывает, однако применение каждого из отмеченных типов сопловых аппаратов целесообразно для различных режимов эксплуатации ДКС. На рис. 12 показано размещение соплового аппарата конусообразного сечения.

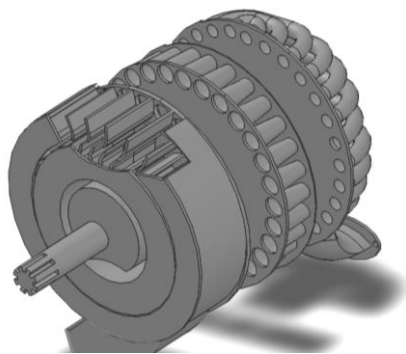


Рис. 12. Размещение соплового аппарата конусообразного сечения

Выводы. Конструкция двигателя проста, поскольку содержит лишь установленные с малым зазором статор и ротор. Отсутствие дискретно управляемых органов газораспределения, вытеснительных элементов и систем охлаждения предопределяет надежность и простоту эксплуатации двигателя. Внедрение в базовую конструкцию ДКС соплового аппарата незначительно увеличивает массогабаритные показатели (увеличение габаритной длины на 5%), одновременно способствуя росту располагаемой работы на валу за счет использования скоростной составляющей газового потока.

Л и т е р а т у р а

1. Данилейченко А.А. Принципы организации рабочих процессов тепловых машин каскадного сжатия научной школы А.И. Крайнюка / А.А. Данилейченко, М.А. Брянец, А.С. Ковтун, Д.М. Доценко «Технологии, материалы, транспорт и логистика: перспективы развития – ТМТЛ'19»: сборник научных работ. Материалы Симпозиума студентов, магистров, аспирантов и молодых ученых в рамках 5-ой Международной научно-практической конференции, г. Луганск, 24-25 апреля 2019 года. – С. 274-293.
2. Данилейченко А.А. Воздушная холодильная установка каскадного обмена давлением / А.А. Данилейченко, М.А. Брянец, Д.М. Доценко, Н.А. Антоненко // Вестник ЛГУ им. В.Даля. – Луганск, изд. ЛГУ. – 2022. – № 12 (66). – С.-20-25.
3. Патент 104798 Украина, F 03 G 7/06. Дисковый двигатель каскадного обмена давлением Крайнюка / А.И. Крайнюк, А.А. Данилейченко, А.А. Крайнюк, заявл. 09.10.2012; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5.
4. Патент 105594 Украина, F03G 7/06. Дисковый двигатель каскадного обмена давлением/ Ю. В. Сторчеус, О. А. Данилейченко, А. С. Ковтун, М. А. Брянец, заявл. 01.10.2015; опубл. 25.03.2016, Бюл. № 6.

Danileychenko A.A., Bryantsev M.A., Dotsenko D.M. DESIGN FEATURES OF THE ENGINE WITH CASCADE COMPRESSION OF THE WORKING ENVIRONMENT

The work is devoted to the study of the use of a cascade pressure exchanger (CPE) as the basic unit of an internal combustion engine. The idea of using CPE is to increase the efficiency of converting the energy of hot gases into the available work of a compressible charge and to reduce the losses of converting the energy of expanding combustion products into useful work of the engine torque. The results of preliminary studies of the characteristics of the cascade compression engine (CCE) are presented. Variants of the design and methods for improving the characteristics of the CCE of the working environment are given. Increasing the efficiency of the CCE is realized by reducing the gas-dynamic flow losses at the inlet to the mass transfer channels and the output of the working fluid from the mass transfer channels. An increase in the proportion of usefully used flowing substance in the mass transfer channels contributes to an additional increase in the pre-compression of the charge without increasing the amount of heat supplied. Two variants of the design of the CCE nozzle apparatus have been developed.

Key words: cascade pressure exchanger, cascade compression, engine, nozzle apparatus.

Данилейченко Александр Анатольевич, канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: 280376@rambler.ru

Danileychenko Alexander, candidate of sciences, a dosent of the chair « Internal combustion engines», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Брянец Максим Анатольевич, старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: 280376@rambler.ru

Bryantsev Maksim, senior lecturer of the «Internal combustion engines» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Доценко Данил Михайлович, старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: 280376@rambler.ru

Dotsenko Danil, senior lecturer of the «Internal combustion engines» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

УДК 656.11.021.24

**ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ
КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ НА ПРИМЕРЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ
пр.БАКЛАНОВСКОГО И пер.МАГНИТНОГО г.НОВОЧЕРКАССКА**

Ефимов А. Д., Бессарабов А. Н., Демьян Е. Р.

**ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF SIMULATION MODELLING
OF TRAFFIC FLOWS WHEN USING DIFFERENT COMPUTER PROGRAMS
ON THE EXAMPLE OF INTERSECTION OF BAKLANOVSKY AVENUE
AND MAGNETIC LANE OF NOVOCHERKASSK**

Efimov A. D., Bessarabov A. N., Demyan E. R.

Статья посвящена анализу эффективности программного обеспечения, применяемого для имитационного моделирования элементов улично-дорожной сети и способов организации движения на них.

Для определения степени достоверности каждой из методик было проведено сравнение выборки фактических задержек, собранных в результате натурных наблюдений, с выборками задержек, полученных в результате имитационного моделирования в различных программных продуктах для существующего светофорного цикла, с использованием правил проверки согласия опытного распределения с теоретическим на основании критерия Пирсона χ^2 .

Ключевые слова: моделирование, программные комплексы, транспортный поток, перекресток, светофорный цикл, имитационное моделирование, графики функций.

Введение. Транспортная инфраструктура – одна из важнейших инфраструктур, обеспечивающих жизнь городов и регионов. В последние десятилетия во многих крупных городах исчерпаны или близки к исчерпанию возможности экстенсивного развития транспортных сетей. Поэтому особую важность приобретает оптимальное планирование сетей, улучшение организации движения, оптимизация системы маршрутов общественного транспорта. Решение таких задач невозможно без имитационного моделирования транспортных сетей. Главная задача имитационных моделей — определение и прогноз всех параметров функционирования транспортной сети, таких как интенсивность движения на всех элементах сети, объемы перевозок в сети общественного транспорта, средние скорости движения, задержки, потери времени и т.д.

Сегодня программы имитационного моделирования широко используются при

проектировании интеллектуальных транспортных систем. Благодаря данным программам мы можем проводить масштабные эксперименты виртуально, что было бы затруднительно сделать в реальных дорожных условиях.

Цель работы. Изучение возможностей различных компьютерных программ в области имитационного моделирования транспортных потоков и оптимизации функционирования транспортных сетей. Построение алгоритма определения оптимального программного обеспечения (ПО) на основе определения закономерности данных существующих транспортных задержек с помощью функций распределения.

Основные материалы и результаты исследования. Объектом моделирования является система ВАДС. Имитационная модель системы представляет собой набор моделей поведения отдельных элементов системы, механизмов их взаимодействия между собой и их реакций на поступающие извне сигналы.

В соответствии с [1] моделируемая реальная система представляет собой открытую динамическую систему, состоящую из конечного числа элементов (автомобилей), движущихся в некоторой организованной области (по элементам улично-дорожной сети, схеме организации движения и т. д.). Извне в систему могут поступать входные сигналы (в частности, о времени въезда на исследуемый участок новых автомобилей, их типах, технических характеристиках и др.).

Каждый элемент системы характеризуется конечным набором атрибутов, которые изменяются во времени. В качестве основной гипотезы при разработке микроописания системы ВАДС принято, что в процессе ее работы функция поведения

каждого параметра любого элемента изменяется скачкообразно в дискретные моменты времени и остается непрерывной в промежутках между скачками. Суть данной гипотезы заключается в том, что скачкообразное изменение параметров системы не является спонтанным, а обусловлено определенной причиной. Варьируемыми факторами в разработанных имитационных моделях являются:

- дорожные факторы (геометрические параметры продольного и поперечного профиля дороги, характеристики дорожного покрытия, расстояние видимости и др.);
- схема организации дорожного движения (наличие различных дорожных знаков, дорожной разметки, светофоров и др.);
- параметры транспортного потока (интенсивность движения, состав транспортного потока);
- характеристики отдельных автомобилей в составе транспортного потока (тип автомобиля, параметры двигателя и трансмиссии, габаритные и

весовые параметры, возраст автомобиля, коэффициенты обтекаемости, сопротивления качению шин и др.);

- характеристики водителей (тип – осторожный, нормальный, агрессивный, время реакции, дисциплинированность по отношению к соблюдению тех или иных правил дорожного движения, желаемая скорость движения и др.).

На сегодняшний день существует множество программ как отечественных, так и зарубежных разработчиков. В каждом продукте заложен свой алгоритм расчета основных параметров транспортных потоков, от этого в большей части зависит стоимость программных продуктов, которая колеблется от нескольких тысяч до десятков миллионов рублей.

В табл. 1 представлены наиболее часто используемые программные продукты, используемые на практике для расчета светофорных циклов и построения имитационных моделей.

Таблица 1

Программные продукты, используемые на практике для расчета светофорных циклов и построения имитационных моделей

№	Продукт	Разработчик	Страна
ПО для расчета светофорного цикла			
1	TRANSNET	Институт системного анализа РАН	Россия
2	Avenue 2.0	AvenueApp 2.0	Беларусь
ПО для имитационного моделирования			
1	Anylogic	The AnyLogic Company	Россия
2	PTV AG	PTV VISION	Германия
3	Aimsun	Transport Simulation Systems (TSS)	Испания
4	Paramics	Quadstone Paramics	Великобритания
5	EMME, Dynameq	INRO	Канада
6	Autodesk InfraWorks	Autodesk, Inc	США

На наш взгляд, представляет интерес, насколько точно различные программные комплексы могут описывать транспортные процессы и сравнить данные, полученные в результате расчета, с реальными параметрами транспортного потока.

Для проведения исследования были отобраны программы, имеющие бесплатные студенческие версии: Avenue 2.0, Anylogic, PT Vissim, Aimsun.

В качестве объекта исследования был выбран перекресток, на котором регулярно возникают затруднения в движении – пр. Баклановского и пер. Магнитного в г. Новочеркасске.

Проспект Баклановский является одной из главных улиц города и на данном участке не имеет улицы-дублера, поэтому весь местный и транзитный транспортные потоки в сторону Ростова-на-Дону и обратно проходит через этот перекресток, поэтому в утренние и вечерние часы-пик на данном участке регулярно наблюдаются заторы.

На данном участке проспект имеет по 2 полосы для движения в каждом направлении. На пересечении реализовано трехфазное жесткое светофорное регулирование с локальным

однопрограммным режимом управления светофорной сигнализацией светофорных объектов. Длительность существующего светофорного цикла составляет 113 с.

Обследование интенсивности и состава транспортного потока проводилось в соответствии с [2, 3], а также фиксировалось при помощи видеокамеры.

Для полученных значений интенсивности были рассчитаны рекомендуемые светофорные циклы. Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Рекомендованная длительность фаз светофорного регулирования, полученная с использованием различных компьютерных программ

№	Методика	Структура светофорного цикла, с.
1	Существующий цикл	$T_{\text{ц}}=63+3+23+21+3=113$
2	Метод Эйлера [4]	$T_{\text{ц}}=21+3+19+14+3=60$
3	Avenue 2.0	$T_{\text{ц}}=33+3+29+22+3=90$
4	Anylogic	$T_{\text{ц}}=63+3+17+21+3=107$
5	PT Vissim	$T_{\text{ц}}=33+3+29+22+3=90$
6	Aimsun	$T_{\text{ц}}=56+3+20+20+3=102$

Из табл. 2 видно, что структура светофорного цикла, полученная с использованием различных методик, очень сильно отличается. Это говорит о том, что в основе каждой методики лежит свой уникальный алгоритм расчета длительности фаз светофорного регулирования и задержек транспортных средств.

После сравнения возможностей программного обеспечения были выявлены характеристики транспортных потоков, которые можно получить в рассматриваемых программных комплексах, а именно:

Avenue 2.0 – позволяет рассчитывать задержки транспортных средств, максимальную очередь, коэффициент насыщения;

Anylogic- позволяет определить время проезда исследуемого участка УДС, плотность транспортного потока, задержки транспортных средств, длину очередей на полосах движения;

PT Vissim- позволяет выявить заторы на полосах движения, определить время в пути, рассчитать задержки транспортных средств, длину очередей, счетчики заторов;

Aimsun- позволяет определить плотность транспортных потоков, задержки транспортных средств, время проезда участка УДС.

Как видно из анализа возможностей программного обеспечения, все исследуемые продукты имеют возможность определять задержки транспортных средств, поэтому в качестве ключевого параметра транспортного потока был выбран именно он.

Анализируя транспортный процесс при исследовании различных параметров, мы, как правило, имеем дело с числовыми значениями (данными наблюдений или экспериментальными данными), обусловленными множеством неподдающихся строгому контролю причин. Задача состоит в том, чтобы по имеющимся результатам наблюдений извлечь из кажущейся хаотичности некоторые интересующие нас закономерности. Для этого воспользуемся правилами проверки согласия опытного распределения с теоретическим [5].

Для определения степени достоверности каждой из методик мы сравнили выборки фактических задержек, полученных в результате натурных наблюдений, с выборками задержек, полученных в результате имитационного моделирования в различных программных продуктах для существующего светофорного цикла.

По материалам видеосъемки была получена выборка из 200 фактических задержек транспортных средств на перекрестке. Под фактической задержкой транспортного средства принималась разница во времени проезда транспортного средства между

контрольными точками (стоп-линия и 100 м до нее) при свободном движении и значением времени в условиях реального движения в условиях затора.

Рассмотрим имеющиеся задержки на исследуемом примыкании. Изучаемым признаком X являются существующие задержки (c). Результаты испытаний представляют выборку из генеральной совокупности – реализации признака X ($x_1, x_2, \dots, x_n$).

Рассматриваемая нами случайная величина X может принять любое значение из некоторого интервала, то есть является случайной непрерывной величиной.

Решение вопросов математической статистики (установить закон распределения, определить параметры, проверить гипотезу) по данным выборки складывается из следующих пунктов:

1) проверка случайности и независимости результатов наблюдений (проверка выборки на стохастичность);

2) построение эмпирической функции распределения;

3) вычисление точечных оценок параметров распределения (выборочной средней, выборочной дисперсии, показателя асимметрии, показателя эксцесса);

4) вычисление интервальных оценок;

5) построение теоретической функции распределения;

6) проверка гипотезы о виде распределения;

7) оценка достоверности различных компьютерных программ с использованием критерия Пирсона χ^2 .

Результаты исследования. По данным расчетов построим графики эмпирической функции распределения (рис. 1) и теоретическую кривую распределения (рис. 2) для выборки фактических задержек полученной с использованием видеосъемки, а также выборки, полученных путем имитационного моделирования с использованием компьютерных программ Avenue 2.0, Anylogic, PT Vissim, Aimsun для утреннего пикового периода 7:30-8:30 на примыкании пер. Магнитного к пр. Баклановскому.

После сравнения полученных данных можно сделать вывод о том, что значения статистических характеристик подтверждают обоснованность нормального распределения исследуемой совокупности задержек. Совокупность задержек на исследуемом перекрестке подчиняется нормальному закону распределения. Сведем данные критического значения χ^2 и фактические значения χ^2 , полученные с использованием различных компьютерных программ, в табл. 3.

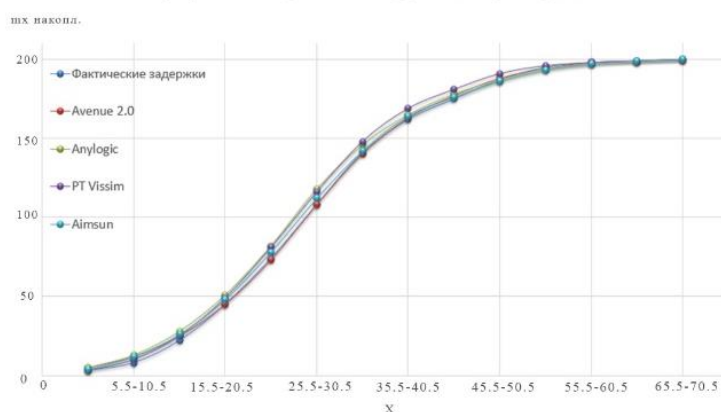


Рис. 1. Графики эмпирических функций распределения задержек, полученных с использованием различных компьютерных программ

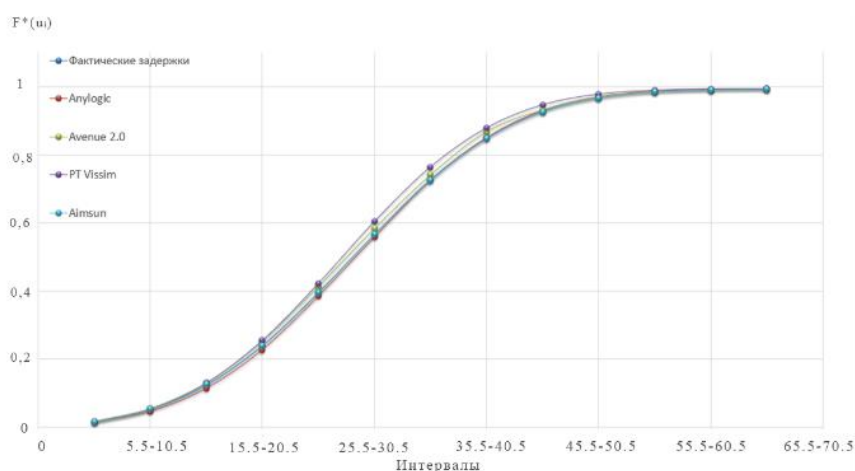


Рис. 2. Графики теоретических функций распределения задержек, полученных с использованием различных компьютерных программ

Таблица 3

Значение критерия Пирсона χ^2 , рассчитанное для различных компьютерных программ

Критерий Пирсона χ^2					
Критическое значение	Фактические задержки	Программа Avenue 2.0	Программа Anylogic	Программа PT Vissim	Программа Aimsun
$\chi^2_{0,05;10}=18,307$	$\chi^2_{\text{набл}}=13,136$	$\chi^2_{\text{набл}}=15,55$	$\chi^2_{\text{набл}}=17,35$	$\chi^2_{\text{набл}}=11,91$	$\chi^2_{\text{набл}}=17,79$

Выводы. Подводя итоги, можно сказать, что в существующих условиях на примыкании к пр. Баклановскому пер. Магнитного действует жесткое управление с локальным однопрограммным режимом управления светофорной сигнализацией светофорных объектов. Это приводит к большим задержкам на пересечении и увеличивает время в пути.

Используя имитационное моделирование в данных программных комплексах нам удалось снизить длину очереди на пересечении, а также добиться снижения задержек на исследуемом примыкании.

По критерию Пирсона χ^2 , представленному в табл. 3 и рис. 1 и 2, видно, что компьютерная программа PT Vissim является наиболее

достоверной, поэтому именно ее лучше использовать при составлении имитационных моделей и оптимизации светофорного цикла.

По параметрам и данным, полученным в программных комплексах, можно сказать, что данные в программах Anylogic и Aimsun близки между собой, тогда как PT Vissim схож с программой Avenue 2.0.

Л и т е р а т у р а

- ОДМ 218.2.072–2016 Методические рекомендации по оценке пропускной способности и уровней загрузки автомобильных дорог методом компьютерного моделирования транспортных потоков
- ГОСТ 32965-2014 – «Методы учета интенсивности движения транспортного потока».

3. ОДМ 218.2.020-2012 – «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог».

4. ОДМ 218.6.003-2011 Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах.

5. Р 50.1.033—2001 – «Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим». Часть 1. Критерии типа хи-квадрат.

Efimov A.D., Bessarabov A.N., Demyan E.R.
ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF SIMULATION MODELLING OF TRAFFIC FLOWS WHEN USING DIFFERENT COMPUTER PROGRAMS ON THE EXAMPLE OF INTERSECTION OF BAKLANOVSKY AVENUE AND MAGNETIC LANE OF NOVOCHERKASSK.

To date, there are many software products of both domestic and foreign developers designed to simulate traffic flows and optimize the functioning of transport networks. As practice shows, each product has its own algorithm for calculating the main parameters of traffic flows, the cost of software products, which ranges from several thousand to tens of millions of rubles, largely depends on this.

The article investigates how accurately various software systems can describe real transport processes. To determine the degree of reliability of each of the programs, we will compare samples of actual delay values obtained as a result of field observations with samples of delays obtained as a result of simulation modeling in various software products for the existing traffic light cycle using the Pearson criterion χ^2

Key word: modeling, software complexes, traffic flow, intersection, traffic light cycle, simulation modeling, function graphs.

Ефимов Артём Дмитриевич, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Международные логистические системы и комплексы», ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова.

Efimov Artem Dmitrievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "International Logistics Systems and Complexes", M. I. Platov YURSPU (NPI).

Бессарабов Алексей Николаевич, к.т.н., доцент кафедры «Международные логистические системы и комплексы», ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова.

Bessarabov Alexey Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "International Logistics Systems and Complexes", M. I. Platov YURSPU (NPI).

Демьян Елизавета Романовна, студентка кафедры «Международные логистические системы и комплексы», ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова.

Demyan Elizaveta Romanovna, student of the Department "International Logistics Systems and Complexes", M. I. Platov YURSPU (NPI).

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

Статья подана 25.05.2023

УДК 629.4, 681.34

ПРИБОРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ НА СОУДАРЕНИЕ ТЕПЛОВОЗА**Киреев А. Н., Дмитриенко А. Б., Атрошенко Д. В.****INSTRUMENTATION FOR LOCOMOTIVE COLLISION TESTS****Kireev A.N., Dmitrienko A.B., Atroshenko D.V.**

В статье рассматривается вопрос приборного обеспечения испытаний на соударение тепловоза. Речь пойдет об особенностях организации измерений всех величин (сил, деформаций, скорости и т.д.) и их приборном обеспечении. Статья может быть полезна инженерам машиностроительных предприятий, занимающимся проектированием, с целью получения необходимой информации о нагруженности несущих элементов конструкции тепловоза, что, в свою очередь, позволит выбрать и реализовать оптимальные решения.

Ключевые слова: измерительный комплекс, ударное воздействие, напряжение, сила, подвижной состав, тензорезистор, тензомодуль.

Введение. В современных условиях важной задачей является обеспечение выполнения техническими средствами предназначенных для них задач, целью которых является достижение экономических показателей, соответствующих требованиям, предъявляемым, в частности, в сфере железнодорожных перевозок.

Выполнение таких задач должно обеспечиваться, в том числе, совершенством конструкции, надежностью, соблюдением требований безопасности и т.д.

Техническое регулирование в данной области направлено на обеспечение выполнения разработчиком при проектировании установленных норм и требований, что позволит создать конструкцию, соответствующую предъявляемым требованиям, способную выполнять возложенные функции без нарушения целостности в течение оговоренного периода времени.

Для проверки соответствия разработанной конструкции на стадии проектирования проводят расчеты, моделирование и испытания как завершающую часть комплекса работ, результаты которых позволят получить количественные и качественные оценки результатов проектирования и подтверждения выполнения поставленной задачи.

Цель работы. Вновь разработанная конструкция тепловоза подвергается комплексу динамико-прочностных испытаний, в который входят и испытания на соударение. Методика их

проведения регламентируется ГОСТ Р 55514-2013 [1]. В общем случае необходимо реализовать приложение к передней автосцепке импульсного ударного воздействия величиной, определенной ГОСТ Р 55513-2013 [2] (к примеру, для магистрального грузового тепловоза величина составляет 2500 кН). При этом необходимо определить величины напряжений в несущих элементах конструкции (рамы, кузова), которые не должны превышать условный предел текучести материала $\sigma_{0,2}$. Для обеспечения выполнения данной комплексной задачи предлагается использование описываемого ниже измерительного комплекса.

Изложение основных материалов. Особенность данных испытаний состоит в необходимости получения достоверных данных измерений при минимальном числе опытов, опасности повреждения испытываемой конструкции вследствие превышения силы удара, из-за случайных факторов и т.п. Следовательно, средства измерений, используемые при данных испытаниях, должны быть надежными, обладать достаточной точностью, позволять проводить оперативную обработку и анализ полученных данных.

Реализацию всех вышеоговоренных условий обеспечит использование следующих средств измерительной техники:

– для определения напряжений в несущих элементах конструкции рамы, кузова: первичные преобразователи-тензорезисторы, например, фольговые КФ-5 [3], измерительный комплекс МКС-036 с тензомодулями МС-212 производства НПП «Мера» [4] (рис. 1), калибровочное устройство, например, балочка равного сопротивления, изготовленная из материала с тем же модулем упругости, что и исследуемая конструкция;

– для определения силы удара: тензорезисторы, наклеиваемые на хвостовике автосцепки, соединяемые по схеме определения напряжений растяжения-сжатия с исключением изгибающих. Автосцепка должна быть предварительно оборудована тензорезисторами (рис. 2) и протарирована в стенде для определения

зависимости сила-напряжение, используемой в дальнейшем при испытаниях;



Рис. 1. Внешний вид измерительного комплекса MIC-036 и модуля MC-212 для работы с тензометрическими датчиками

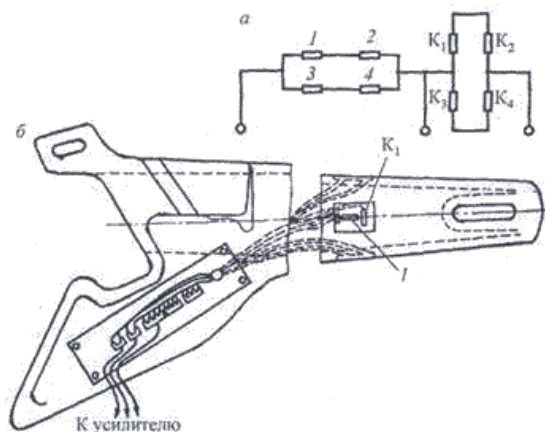


Рис. 2. Схема наклейки и соединения тензорезисторов на хвостовике автосцепки

– для определения скорости движения при ударе используется устройство, определяющее время прохождения колесной парой участка определенной длины, находящегося непосредственно в месте соударения.

Результаты исследований. При соударении нагружены, в основном несущие элементы рамы и кузова тепловоза; инерционному нагружению подвержено оборудование, расположенное в кузове и под ним. Испытания на соударение проводят, как правило, на собранном тепловозе.

Тепловоз должен накатываться на состав-подпор, состоящий, как правило, из грузовых вагонов, либо самостоятельно, либо с помощью другого локомотива, осуществляющего разгон и накат. При этом разгоняющий локомотив располагается сзади испытуемого тепловоза, и не участвует в соударении, притормаживая и отцепляясь заблаговременно перед соударением.

Также возможно использование вагона-бойка, тогда испытуемый тепловоз должен неподвижно находиться в голове состава-подпора.

Испытания, как правило, начинают с соударения на скорости 2-3 км/ч. Скорость движения определяется по времени, за которое колесо первой колесной пары поочередно нажмет на расположенные (укрепленные на подошве рельса) на определенном расстоянии (обычно 1 м) выключатели, управляющие счетчиком времени. Первый выключатель запускает счетчик времени, второй – останавливает. Зная расстояние между выключателями (S) и время, полученное при измерениях (t), подсчитывают скорость.

Определяют величину силы соударения, используя полученные при тарировке автосцепки зависимости, анализируют полученные величины напряжений в исследуемых элементах конструкции. По результатам анализа принимается решение о продолжении испытаний. Полученные величины используют для построения линейных зависимостей «сила удара в автосцепку-напряжение». Экстраполируя полученную зависимость, определяют напряжения в исследуемых элементах несущей конструкции при нормативной силе соударения, сравнивают полученные данные с допускаемыми и делают вывод о соответствии.

Измерительный комплекс MIC-036 с тензомодулями MC-212 позволяет выполнить подключение тензорезисторов, наклеенных в исследуемых элементах конструкции и на хвостовике автосцепки, проводить настройку, калибровку, измерения и запись измеренных параметров с помощью программы MIC RECORDER [5]. При необходимости определения инерционного нагружения оборудования тепловоза можно использовать средства измерения вибрационных параметров, регистрация которых также возможна посредством измерительного комплекса MIC-036. Для обработки результатов измерений используется программа Win ПОС [6].

Типичный характер осциллограммы напряжений в несущих элементах конструкции при соударении изображен на рис. 3.



Рис. 3. Осциллограмма ударного (импульсного) процесса

Преимуществом использования данного измерительного комплекса является возможность проведения измерений и отображения их результатов (в виде осциллограмм процессов и их измеренных величин) на одном экране, в последовательности (порядке), удобной для оператора. Для анализа результатов предоставлен ряд возможностей: отображение сигналов с привязкой по времени; наложение сигналов для определения фаз и характера деформаций; установление пороговых значений с мгновенным информированием об их превышении и т.п.

Выводы. Основной задачей представляется комплекс работ при проведении испытаний: планирование эксперимента, материальное обеспечение средствами измерений и испытательным оборудованием, что применительно к одному из этапов динамико-прочностных испытаний тепловоза.

Таким образом, представленный измерительный комплекс позволит решить все задачи при проведении испытаний на соударение тепловоза, обеспечит точность и достоверность результатов измерений, позволит проводить оперативную обработку и анализ результатов измерений. Обеспечит инженеров, занимающихся проектированием, получение необходимой информации о нагруженности несущих элементов конструкции, позволит выбрать и реализовать оптимальные решения.

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ Р 55514-2013. Локомотивы. Методика динамико-прочностных испытаний. Москва: Стандартинформ. 2019.
2. ГОСТ Р 55513-2013. Локомотивы. Требования к прочности и динамическим качествам. Москва: Стандартинформ. 2014.
3. ДКПП 33.20.62.390 Тензорезисторы КФ-4 и КФ-5. Техническое описание и инструкция по наклейке. ООО «Веда». 2003.
4. БЛИЖ.401250.001РЭ. Комплексы измерительно-вычислительные МИС. Руководство по эксплуатации. НПП «Мера». 2010.
5. Программа управления комплексом МИС RECORDER. Руководство пользователя. НПП «Мера». 2020.
6. БЛИЖ.409801.002-04 90. Win ПОС Пакет обработки сигналов. Руководство пользователя. Королев: НПП «Мера». 2009.

Kireev A.N., Dmitrienko A.B., Atroshenko D.V. INSTRUMENTATION FOR LOCOMOTIVE COLLISION TESTS

The article deals with the issue of instrumentation for locomotive collision tests. We will talk about the features of the organization of measurements of all quantities (forces, deformations, velocity, etc.) and their instrumentation. The article may be useful to engineers of machine-building enterprises engaged in design in order to obtain the necessary information about the load-bearing elements of the locomotive structure, which, in turn, will allow choosing and implementing optimal solutions.

Key words: measuring complex, impact, voltage, force, rolling stock, strain gauge, strain gauge.

Киреев Андрей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: lifter_23@mail.ru

Kireev Andrey, Dr. Sci., professor of the department of "Railway transport", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Дмитrienko Александр Борисович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: a.dmitrienko71@mail.ru

Dmitrienko Alexandr, senior lecturer of the department of "Railway transport", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Атрошенко Денис Валерьевич, заведующий лабораторией кафедры «Специальные технические средства», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: denis_mihalich@mail.ru

Atroshenko Denis, head of the laboratory of the department of "Special technical means", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, профессор, доктор технических наук, проректор по научной работе и инновационной деятельности ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Статья подана 17.04.2023

УДК 620.179.16

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАТУХАНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

Киреев А. Н., Киреева М. А., Гладков А. Р.

METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF ULTRASOUND ATTENUATION IN POLYCRYSTALLINE MATERIALS

Kireev A.N., Kireeva M.A., Gladkov A.R.

Статья посвящена актуальной теме разработки нового метода определения структурного коэффициента затухания продольной ультразвуковой волны в поликристаллических материалах. В работе проведен анализ известных методов определения параметров затухания, показаны их достоинства и недостатки. Проведены теоретические исследования, на основе которых разработан математический аппарат нового метода определения структурного коэффициента затухания, исключающего недостатки существующих методов. Предложено конструктивное решение системы стабилизации акустического контакта пьезоэлектрического преобразователя с объектом контроля из поликристаллического ферромагнитного материала, которое позволяет обеспечить одинаковую толщину и отсутствие изменения толщины слоя контактной жидкости.

Ключевые слова: ультразвук, неразрушающий контроль, ультразвуковой контроль, ультразвуковая волна, затухание, коэффициент затухания, структурный коэффициент.

Введение. При распространении ультразвуковой волны в поликристаллическом материале уменьшается ее интенсивность. Ослабление интенсивности связано с расхождением и затуханием ультразвуковой волны [1]. Ослабление волны за счет расхождения зависит от известных факторов: размеров излучателя, длины и скорости ультразвуковой волны в среде.

В то же время установлено, что затухание ультразвука в поликристаллических материалах обусловлено его поглощением и рассеиванием на микронеоднородностях и границах кристаллитов.

На величину поглощения (преобразование энергии ультразвуковой волны в тепловую энергию) влияют потери на дефектах кристаллической решетки, термоупругие эффекты, дислокационное трение, фонон-фононное взаимодействие, взаимодействие фононов с электронами проводимости, взаимодействие ультразвука с

колебаниями кристаллической решетки, магнитоупругие эффекты [2].

Рассеяние ультразвука обусловлено тем, что поликристаллический материал не является строго однородным. В нем встречаются граничные поверхности, на которых звуковое сопротивление изменяется [3]. В материалах, зерна которых состоят из одной фазы, например: аустенитная сталь, изменение акустического сопротивления при переходе границы кристаллитов обусловлено упругой анизотропией свойств кристаллита. В материалах, зерна которых состоят из разных фаз, например: перлитоферритная сталь, чугун и др., изменение акустического сопротивления на границе кристаллитов больше, чем у материалов с однофазной структурой, следовательно, и рассеяние играет большую роль в затухании ультразвука.

Из вышесказанного следует, что существуют определенные закономерности между условиями распространения упругой волны, ее длиной, размерами и акустическими характеристиками как элементов проводящей среды (зерен и межкристаллитных прослоек), так и всей среды в целом. В зависимости от соотношения указанных параметров решающую роль в затухании принадлежит либо явлениям дифракции, когда длина волны λ значительно превосходит среднестатистический размер зерна d ($\lambda > 2\pi d$), вследствие чего акустические потери оказываются малыми. В области частот, когда $d < \lambda < 2\pi d$, характерным является фазовое рассеяние ультразвука на границах кристаллитов. Если $\lambda \leq d$, то имеет место диффузное рассеяние ультразвука, при котором коэффициент рассеяния уже не зависит от частоты, а с повышением частоты заметную роль начинает играть физическое поглощение ультразвука.

Затухание ультразвука является мешающим фактором при ультразвуковом контроле объектов с поликристаллической структурой. Погрешность вносит разница в затухании ультразвуковой волны в

объекте контроля и в стандартном образце с искусственными эталонными отражателями для оценки допустимости обнаруженных несплошностей [4-7]. Вследствие этой разницы амплитудные характеристики эхо-сигнала от обнаруженной несплошности и эталонного отражателя с одинаковой эквивалентной площадью будут иметь разное значение.

С другой стороны, связь между параметрами ультразвуковой волны и размерами, формой и характеристиками элементов проводящей среды поликристаллического материала позволяет осуществлять контроль структуры без нарушения целостности изделия путем построения корреляционных зависимостей между структурными характеристиками материала и параметрами затухания упругой волны [8].

Определение затухания упругой волны может осуществляться резонансным методом, при котором измеряется ширина резонансных пиков на определенном уровне от максимального значения амплитуды. Также затухание определяют методом свободных колебаний посредством измерения числа периодов свободных колебаний, за которое амплитуда колебаний уменьшается до определенного уровня (например, в два раза) [9]. Погрешности при этих измерениях возникают в результате потерь, не связанных с затуханием волн в материале (передача энергии в опоры, в окружающую среду, возбуждающий элемент и т.п.).

При практических измерениях наибольшее распространение получил способ сравнительного измерения затухания по амплитудным характеристикам импульсов, проходящим один и тот же путь в образце и изделии одинаковой формы при аналогичных условиях контакта преобразователя с объектом контроля и образцом. Недостатком этого способа является относительность измерения, так как на амплитуду сигнала влияет помимо затухания расхождение ультразвуковой волны.

Целью настоящей работы является разработка метода определения параметров затухания продольной ультразвуковой волны в объектах из поликристаллических материалов, исключающего недостатки известных методов.

Основная часть. На рис. 1 представлена схема анализа характеристик прохождения и отражения продольной ультразвуковой волны в объекте контроля (ОК). Для наглядности первое и второе отражение волны от донной поверхности разнесены по сечению ОК.

В анализируемой схеме (рис. 1) можно выделить следующие математические зависимости:

$$A_2 = A_1 \cdot D_2,$$

откуда получаем:

$$A_1 = \frac{A_2}{D_2}, \quad (1)$$

где D_2 – коэффициент прохождения ультразвуковой волны через границу раздела ОК-КЖ-ПЭП.

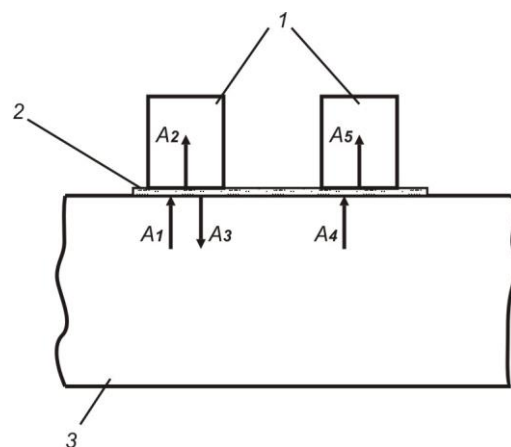


Рис. 1. Схема для анализа характеристик прохождения и отражения продольной ультразвуковой волны в ОК: 1 – пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП); 2 – контактная жидкость (КЖ); 3 – ОК; A_1 – амплитудная характеристика первого донного эхо-сигнала, прошедшего на границу раздела ОК-КЖ-ПЭП; A_2 – амплитудная характеристика первого донного эхо-сигнала, прошедшего границу раздела ОК-КЖ-ПЭП; A_3 – амплитудная характеристика эхо-сигнала, отраженного от границы раздела ОК-КЖ-ПЭП; A_4 – амплитудная характеристика второго донного эхо-сигнала, прошедшего на границу раздела ОК-КЖ-ПЭП; A_5 – амплитудная характеристика второго донного эхо-сигнала, прошедшего границу раздела ОК-КЖ-ПЭП

$$A_3 = A_1 \cdot R, \quad (2)$$

где R – коэффициент отражения ультразвуковой волны от границы раздела ОК-КЖ-ПЭП.

Из выражений (1), (2) получаем:

$$A_3 = \frac{A_2 \cdot R}{D_2}. \quad (3)$$

$$A_5 = A_4 \cdot D_2,$$

откуда получаем:

$$A_4 = \frac{A_5}{D_2}. \quad (4)$$

Ультразвуковым импульсным дефектоскопом имеется возможность измерения отношения амплитудной характеристики A_5 к амплитудной характеристике A_2 в дБ:

$$\Delta N = 20 \cdot \lg \frac{A_5}{A_2},$$

откуда получаем:

$$F = \frac{A_5}{A_2} = 10^{\left(\frac{\Delta N}{20}\right)}. \quad (5)$$

Отражение от донной поверхности в дальней зоне (зоне Фраунгофера) ПЭП описывается выражением [5]:

$$\frac{A_4}{A_3} = \frac{S_a}{2 \cdot \lambda \cdot x} \cdot e^{-2 \cdot \delta \cdot x}, \quad (6)$$

где S_a – площадь излучателя ПЭП, мм²; λ – длина ультразвуковой волны, мм; x – расстояние до донной поверхности, мм; δ – коэффициент затухания ультразвуковой волны, Нп/мм.

Из выражений (3), (4), (6) находим:

$$\frac{\left(\frac{A_5}{D_2}\right)}{\left(\frac{A_2 \cdot R}{D}\right)} = \frac{S_a}{2 \cdot \lambda \cdot x} \cdot e^{-2 \cdot \delta \cdot x}. \quad (7)$$

Из выражений (5), (7) находим:

$$\frac{F}{R} = \frac{S_a}{2 \cdot \lambda \cdot x} \cdot e^{-2 \cdot \delta \cdot x}. \quad (8)$$

Из выражения (8) получаем:

$$\delta = K_c + K_R, \quad (9)$$

где

$$K_c = -\frac{\ln\left(\frac{2 \cdot \lambda \cdot x \cdot F}{S_a}\right)}{2 \cdot x}, \quad (10)$$

$$K_R = \frac{\ln R}{2 \cdot x}.$$

Компонент формулы (9) K_c назовем структурным коэффициентом. K_c – обуславливает ослабление продольной ультразвуковой волны в анализируемой схеме за счет затухания и отражения от границы раздела ОК-КЖ-ПЭП. Компонент формулы (9) K_R – обуславливает ослабление продольной ультразвуковой волны в анализируемой схеме за счет отражения от границы раздела ОК-КЖ-ПЭП.

При аналогичности условий контакта ПЭП с ОК при выполнении измерений в разных ОК коэффициент отражения $R = \text{const}$ и изменений структурного коэффициента K_c будет зависеть только от изменений параметров затухания в ОК.

Аналогичность акустического контакта при измерениях реализуется при следующих условиях:

- применение одного типа ПЭП;
- применение одинаковой КЖ;
- шероховатость контактной поверхности не более $R_z = 40$ мкм;
- измерение параметров затухания в объектах с одинаковым характеристическим импедансом;
- одинаковая толщина и отсутствие изменения толщины слоя контактной жидкости.

Для реализации последнего условия была предложена схема стабилизации акустического контакта ПЭП с ОК, показанная на рис. 2, 3. Ограничением для применения данной схемы является то, что ее можно применять только для ферромагнитных ОК.

Из вышесказанного следует, что для определения параметров затухания в различных ОК достаточно определения структурного коэффициента K_c .

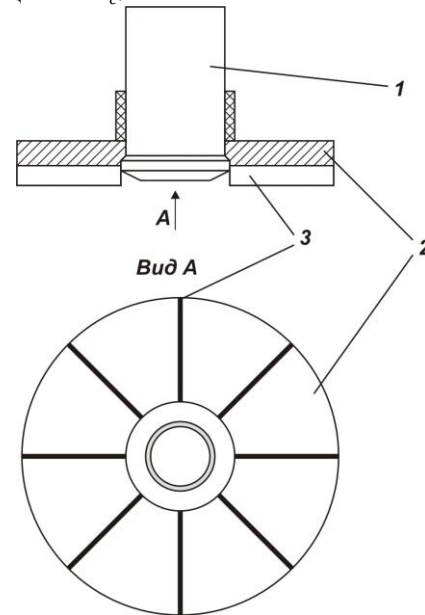


Рис. 2. Схема системы стабилизации акустического контакта:

1 – ПЭП; 2 – постоянный магнит; 3 – выточки для выхода излишек КЖ

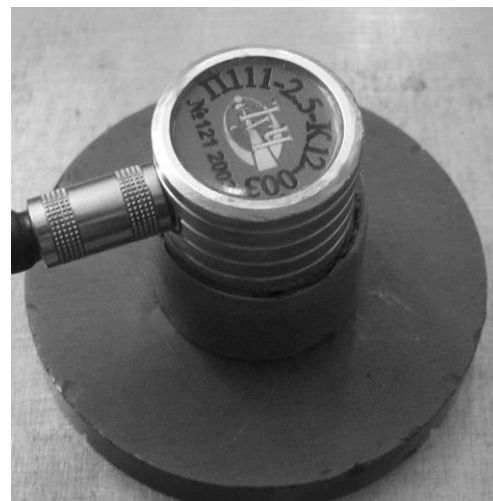


Рис. 3. Фото системы стабилизации акустического контакта

Метод определения структурного коэффициента K_c заключается в следующем:

1. В ОК из поликристаллического материала посредством ультразвукового импульсного дефектоскопа измеряется разница в дБ ΔN между амплитудными характеристиками первого и второго донных эхо-сигналов.

2. При выполнении измерений должны соблюдаться следующие условия:

– аналогичность условий контакта между ПЭП и ОК;

– расстояние от точки ввода акустической оси ультразвуковой волны в ОК l до боковых граней ОК (рис. 4) должно быть больше или равно l_{min} :

$$l_{min} = a + tg \left(\arcsin \left(0,61 \cdot \frac{\lambda}{a} \right) \right) \cdot \left(4 \cdot x - \frac{a^2}{\lambda} \right), \quad (11)$$

где a – радиус излучателя, мм; x – расстояние от поверхности ввода ультразвуковой волны до донной поверхности, мм; λ – длина ультразвуковой волны, мм.

На рис. 5 показана в виде графика зависимость минимального расстояния до боковых граней ОК l_{min} от расстояния до донной поверхности x для разных типов ПЭП.

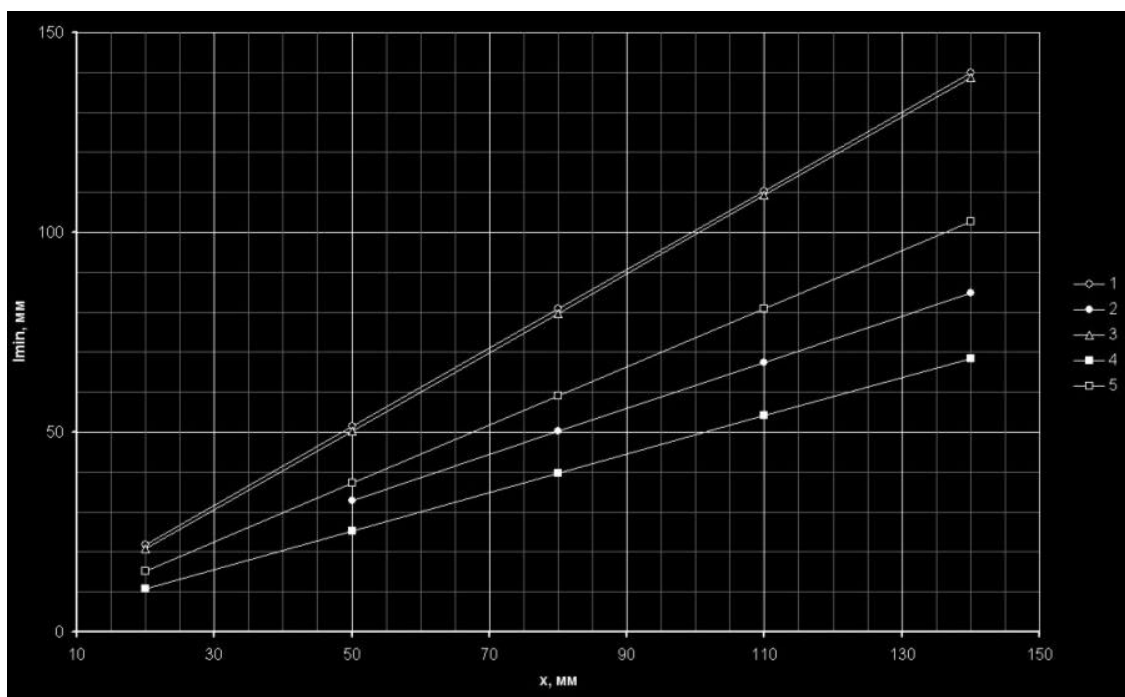


Рис. 5. График зависимости l_{min} от x для разных типов ПЭП:

1 – П111-2,5-к12-003; 2 – П111-2,5-к20-003; 3 – П111-5-к6-003; 4 – П111-10-к6-003; 5 – П111-10-к4-003

Выводы. Характеристикой упругой волны, наиболее чувствительной к структуре поликристаллического материала, является затухание.

При определении параметров затухания в поликристаллическом материале достаточно определять структурный коэффициент K_c , при условии сохранения аналогичности акустического контакта между ПЭП и ОК, что позволяет исключить влияние изменения коэффициента отражения от границы раздела ОК-КЖ-ПЭП на изменение структурного коэффициента K_c .

Для обеспечения условий аналогичности контакта между ПЭП и ОК предложена схема стабилизации акустического контакта, которая позволяет стабилизировать акустический контакт в ОК из ферромагнитных материалов.

3. По измеренному значению ΔN , воспользовавшись зависимостями (5), (10), рассчитывается структурный коэффициент K_c .

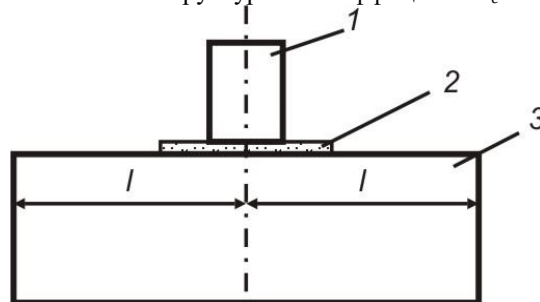


Рис. 4. Расстояние l от акустической оси ПЭП до боковых граней ОК:

1 – ПЭП; 2 – КЖ; 3 – ОК

Л и т е р а т у р а

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. Изд. 2-е испр. и доп. / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.
2. Труэлл, Р. Ультразвуковые методы в физике твердого тела / Р. Труэлл, Ч. Эльбаум, Б. Чик. Пер. с англ. – М.: Наука, 1972. – 340 с.
3. Крауткремер Йозеф, Ультразвуковой контроль материалов. Справочник. / Йозеф Крауткремер, Герберт Крауткремер. Пер. с нем. Е.К. Бухмана, под ред. В.Н. Волченко. М.: Металлургия, 1991. – 752 с.
4. 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.
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 по шпоночному пазу при ультразвуковом контроле деталей и узлов машин и агрегатов / А.Н. Киреев, В.В. Быкадоров, М.А. Киреева // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск, 2021. – № 6 (48) – С. 69-75.

7. Киреев А.Н. Усовершенствование ультразвукового контроля катаных колесных центров в осевом направлении / А.Н. Киреев, М.А. Киреева, И.А. Поперечная // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск, 2023. – № 1 – С. 73-78.

8. Киреев А.Н. Оценка качества термической обработки колесных центров тягового подвижного состава методом ультразвуковой структуроскопии / А.Н. Киреев, М.А. Киреева // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – Екатеринбург: 2019. – № 1 (41) – С. 16-24.

9. Физическая акустика. / Под ред. У. Мэзона. – М.: Мир, 1966. – т. 1, ч. А – 592 с.

10. Ермолов, И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.

**Kireev A.N., Kireeva M.A., Gladkov A.R.
METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS
OF ULTRASOUND ATTENUATION IN
POLYCRYSTALLINE MATERIALS**

The article is devoted to the topical topic of developing a new method for determining the structural attenuation coefficient of a longitudinal ultrasonic wave in polycrystalline materials. The paper analyzes the known methods for determining the attenuation parameters, shows their advantages and disadvantages. Theoretical studies have been carried out, on the basis of which the mathematical apparatus of a new method for determining the structural attenuation coefficient has been developed, eliminating the disadvantages of existing methods. A constructive solution is proposed for the stabilization system of the acoustic contact of a piezoelectric transducer with a control object made of polycrystalline ferromagnetic material, which

allows for the same thickness and no change in the thickness of the contact fluid layer.

Keywords: *ultrasound, non-destructive testing, ultrasonic testing, ultrasonic wave, attenuation, attenuation coefficient, structural coefficient.*

Киреев Андрей Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: lifter_23@mail.ru

Kireev Andrey, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Railway transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Киреева Маргарита Анатольевна, аспирант кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: kmagt@mail.ru

Kireeva Margarita, graduate student of the «Railway transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Гладков Александр Романович, студент кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Gladkov Alexandr, student of the «Railway transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Статья подана 13.04.2023

УДК 656.078

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ВИРТУАЛИЗАЦИИ

Киркин А. П., Киркина Т. Ю.

IMPROVING THE RELIABILITY OF THE FUNCTIONING OF HANDLING SYSTEMS USING VIRTUALIZATION METHODS

Kirkin A.P., Kirkina T.Y.

Статья посвящена актуальной проблеме по разработке новых эффективных методов повышения надежности подъемно-транспортных систем, работающих в условиях неопределенности и стохастичности в параметрах воздействия внешней среды. Выделены основные методы виртуализации, влияющие на основные критериальные оценки надежности подъемно-транспортной системы. К методам отнесены ресурсы сети Интернет, стандарт их виртуального отображения, механизм взаимодействия независимых элементов подъемно-транспортной системы через виртуальный центр, созданный для удаленного управления системой и внешней средой. При этом параметры системы разделены на управляемые и неуправляемые виртуальным центром, для достижения оптимального или заданного уровня надежности.

Ключевые слова: виртуализация, подъемно-транспортная система, ремонтпригодность, безотказность, долговечность, надежность.

Введение. Подъемно-транспортные системы (подсистемы), как правило, являются частью ещё более крупных и сложных систем машиностроения, строительства, доставки грузов и т.п. Таким образом, основные направления развития подъемно-транспортных подсистем, их цели и задачи лежат в плоскости реализации основных целей работы производственных систем, в которые они входят.

При этом основой совершенствования подъемно-транспортных систем (PTS) являются фундаментальные основы надежности (N) подъемно-транспортной техники, такие как ремонтпригодность (R), долговечность (D) и безотказность (B), которые в свою очередь рассматриваются с позиций теории надежности.

Таким образом, главная задача подъемно-транспортной системы – это обеспечение этих трех показателей на плановом уровне, что само собой является логистическим подходом к работе технологических систем с непрерывностью материального, информационного и т.д. потоков.

Эта задача является важной и актуальной в современных, быстро меняющихся условиях работы подъемно-транспортных систем, с большим количеством факторов неопределенности и непредсказуемости в параметрах воздействия внешней среды.

Анализ последних исследований и публикаций. Обзор литературных источников показал, что в условиях известных условий распределения случайной величины, четких систем планирования работы транспортно-технологических систем разработаны методы и модели эффективной работы подъемно-транспортных систем. Однако в условиях неопределенности и постоянно меняющегося риска данные модели не могут быстро реагировать для принятия оперативных решений и требуют дополнительных затрат ресурсов на поиск новых закономерностей работы подъемно-транспортных систем и влияющих на них величин [1, 2, 3].

Вопросами снижения неопределенности в работе технологических систем, перехода к системотехническому и логистическому подходу в управлении элементами данных систем занимались такие ученые, как В. К. Губенко, Г. И. Нечаев, С. К. Рамазанов, Т.А. Родкина, И.В. Николаенко, В.Б. Тарасов, В.А. Сердюк, А.В. Катаев, М. Уорнер и др.

Согласно литературе, виртуализация технологических процессов является одним из эффективных методов снижения стохастичности и неопределенности в системе. При этом основой повышения эффективности являются методы виртуализации (MVE), позволяющие [4] сократить время на поиск информационных ресурсов, необходимых для принятия оперативных решений, повысить целевую управляемость независимых элементов подъемно-транспортной системы и создать механизм взаимодействия с внешней средой для снижения стохастичности и неопределенности в параметрах ее воздействия на систему.

Цель исследования. Таким образом, целью данного исследования является повышение надежности подъемно-транспортной системы за счет использования методов виртуализации при воздействии на параметры (S), влияющие на показатели надежности.

Материалы и результаты исследования. Для выполнения основной задачи PTS необходимо, чтобы выполнялось следующее условие: вероятность надежной работы от трех показателей не должна быть ниже заданного уровня.

$$p(N) = p(R \cup D \cup B) \geq p_{\text{зад}}(N). \quad (1)$$

Любое улучшение этих показателей является основой оптимизации и совершенствования подъемно-транспортных систем, что можно представить в виде:

$$p_{\text{opt}}(R \cup D \cup B) \rightarrow p_{\text{max}}(N). \quad (2)$$

Совершенствование работы подъемно-транспортных систем лежит в плоскости снижения факторов стохастичности и неопределенности в системе, что достигается снижением времени (τ) реакции системы на возмущающие воздействия [5, 6]. При этом под реакцией системы подразумевается регулирование (U_S) параметров ($S = \{s_i\}$), влияющих на показатели надежности:

$$PTS = f_{\text{MVE}}(p_{\text{зад}}(N), U_S, \tau). \quad (3)$$

Повышение надежности подъемно-транспортных систем достигается за счет изменения за время (t) параметров самой системы без возмущающих воздействий.

$$PTS = f_{\text{MVE}}(p_{\text{max}}(N), U_S, t). \quad (4)$$

Для решения поставленной задачи предлагается использовать методы виртуализации, которые можно условно разделить на 4 вида [4, 7]:

- использование понятия «интернет - ресурс» $S = \{s_i\}$ для быстрого поиска информации и принятия, на их основании, оперативных решений;
- наличие виртуального центра (ВЦ), координирующего, регулирующего, управляющего, планирующего и организующего работу исследуемой подъемно-транспортной системы ($U_{\text{ВЦ}}$);

- ограничение времени (τ) на поиск информации, для чего она должна быть подготовлена к стандартам виртуального центра и входить в его ресурсное обеспечение ($\{s_i\} \in S_{\text{ВЦ}}$);

- информационное объединение виртуальным центром всех независимых элементов подъемно-транспортной системы вокруг основной цели функционирования, что дает возможность критериальной оценки создаваемой логистической системы (LS). При этом критерии логистики (K_{LS}) ограничивают число возможных целей функционирования:

$$PTS = LS(\tau) \rightarrow K_{\text{LS}}(\tau) = f(\{s_i(\tau)\}), \quad (5)$$

при этом $U_{\text{ВЦ}}(\tau) \rightarrow K_{\text{opt}}(\tau)$.

Рассмотрим параметры, которые необходимы для повышения надежности подъемно-транспортной системы с использованием методов виртуализации. Для этого проанализируем все три основных показателя надежности по отдельности.

Безотказность – показатель, полностью зависящий от внешних условий, в рамках которых система может сохранять работоспособность. То есть имеем два параметра выходной величины: процент работоспособности в рамках заданных входных величин и сами входные параметры с возможностью их регулирования. В любом из этих случаев значение имеет не внутреннее, а внешнее состояние системы (внешняя среда), которая является как возмущающим, так и стабилизирующим или оптимизирующим воздействием.

Долговечность – показатель, отображающий длительность безотказной работы, который также напрямую зависит от условий функционирования и содержания (обеспечения запчастями) подъемно-транспортной системы, а также самих параметров элементов системы, заданных изначально, которые не являются целью данного научного исследования и принимаются как заданные константы (входные переменные).

Методы виртуализации в рамках данной работы не используются для планирования подъемно-транспортной системы или ее разработки (было принято допущение, что система уже создана и достаточно хорошо изучена). Однако для новых и малоизученных технологических систем и оборудования, по литературным источникам, методы виртуализации способны до 80% сократить время на проектирование и разработку [1, 2].

Ремонтопригодность – показатель, характеризующий возможность быстрого восстановления работоспособности. На этот параметр, помимо проектирования системы с возможностью смены элементов или их взаимозаменяемостью, влияют такие параметры, как поиск запчастей или их аналогов, а также замена элементов или крупных узлов.

Методы виртуализации могут до 80% снизить затраты времени на поиск информации [1, 3] и до 40% снизить стоимость восстановительных работ [5], а также дают возможность управления надежностью подъемно-транспортной системы, оказывая влияние как на систему, так и на внешнюю среду.

При этом все параметры, кроме распределения по видам надежности, можно разделить на управляемые и неуправляемые виртуальным центром величины. Для дальнейшего рассмотрения целесообразно использовать только управляемые параметры, задав неуправляемые как входные величины или константы.

Выделим управляемые ресурсы (параметры) виртуального центра, управление которыми может привести к заданному или оптимальному уровню (оценке) надежности подъемно-транспортной системы (K_{opt}).

$$K_{opt} = f(S_1 \cup S_2 \cup S_3), \quad (6)$$

где S_1 – управляемые параметры, влияющие на безотказность (s_1, s_2, s_3 – интенсивность погрузочно-выгрузочных и складских операций);

S_2 – управляемые параметры, влияющие на долговечность (s_4, s_5 – затраты на поиск и замену элементов и затраты на изменение интенсивности входящего потока);

S_3 – управляемые параметры, влияющие на ремонтпригодность (s_6, s_7 – затраты на поставку и замену запчастей).

Тогда по формуле (6):

$$K_{opt} = f(s_1, \dots, s_7). \quad (7)$$

Однако при логистическом подходе число критериев работы транспортной системы может быть более чем один. При этом целевая функция системы будет суммарной критериальной оценкой ($\sum K_{LS}$) от n выбранных для оценки системы критериев:

$$\sum K_{LS} = f(K_1, \dots, K_n). \quad (8)$$

Технология работы подъемно-транспортной системы при внедрении методов виртуализации будет следующей:

- Рассчитываются плановые показатели надежности, гарантируемые потребителю услуг подъемно-транспортной системы ($p_{зад}(N)$).

- Ставится задача повышения расчетных показателей системы по формуле (3) либо задача их стабилизации при возмущающих воздействиях внешней среды, определенных по формуле (4).

- Производится имитационное моделирование работы транспортной системы с ее регулированием или совершенствованием через выделенные 7 параметров управления.

- Выполняется имитационное моделирование по логистическим принципам, от постановки цели и задач до выбора математического аппарата, эффективность которого для различных задач подъемно-транспортных систем непостоянна и требует дальнейшего изучения. Кроме методов искусственного интеллекта (наиболее эффективных в условиях стохастичности и неопределенности), это могут быть сетевые модели, СМО, дифференциальные уравнения состояния и т.д. Управление осуществляется при помощи обратной связи.

- Производится оценка полученных результатов моделирования и создание правил принятия решений для их последующего накопления в виде баз знаний.

В дальнейшем следует рассмотреть методы интеллектуализации, для оптимальной работы

которых и нужна виртуализация систем, а также выработать методологию реализации методов виртуализации и оценку их эффективности в подъемно-транспортных системах.

Выводы. 1. Эффективность работы подъемно-транспортных систем зависит от их надежности, которая достигается как за счет внутренних, так и внешних факторов.

2. Для снижения стохастичности и неопределенности во внешних факторах необходимо использование новейших организационных структур для объединения и замены независимых элементов системы и быстрого поиска решений, что достигается внедрением методов виртуализации, основанных на принципах виртуальной логистики;

3. Использование методов виртуализации позволит повысить эффективность работы подъемно-транспортных систем и их надежность выше плановых вероятностных показателей за счет параметрического управления с возможностью накопления опыта и имитационного моделирования планируемых работ.

Л и т е р а т у р а

11. Родкина Т. А. Информационная логистика: учебное пособие / Т. А. Родкина. – Москва: Экзамен, 2001. – 288 с.
12. Тимашова Л.А. Организация виртуальных предприятий / Л.А. Тимашова, С.К. Рамазанов, Л.А. Бондар, В.А. Лещенко. – Луганск: Изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2004. – 368 с.
13. Катаев А.В. Виртуальные бизнес-организации: монография / А.В. Катаев. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. – 120 с.
14. Киркин А.П. Формализация методов виртуального предприятия, направленных на совершенствование технологии нерегулярных грузопотоков / А.П. Киркин, В.И. Киркина // Вестник Приазов. гос. тех. ун-та: Сб. науч. раб. – Мариуполь, 2009. – Вып. 19. – С. 280-283.
15. Уорнер М. Виртуальные организации: новая форма ведения бизнеса в XXI веке / М. Уорнер, М. Витцель. – М.: Добрая книга, 2005. – 296 с.
16. Мосьяков И. Интеллектуальные виртуальные организации / И. Мосьяков. – М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 180 с.
17. Уринцов А.И. Влияние организационной структуры управления на развитие виртуального предприятия / А.И. Уринцов, О.В. Староверова, В.В. Дик // Образование. Наука. Научные кадры. – М.: Изд-во «Юнити-Дана», 2015. – № 6. – С. 180-185.

Kirkin A.P., Kirkina T.Y. IMPROVING THE RELIABILITY OF THE FUNCTIONING OF HANDLING SYSTEMS USING VIRTUALIZATION METHODS

The article is devoted to the actual problem of developing new effective methods for improving the reliability of lifting and transport systems operating under conditions of uncertainty and stochasticity in the parameters of the external environment. The main methods of virtualization that affect the main criterion estimates of the reliability of the lifting and

transport system are identified. The methods include Internet resources, the standard of their virtual presentation, the mechanism of interaction of independent elements of the lifting and transport system through a virtual center created for remote control of the system and the external environment. At the same time, the system parameters are divided into managed and unmanaged by the virtual center in order to achieve the optimal or specified level of reliability. Reliability is achieved either in general or in three main indicators: maintainability, durability and reliability.

Key words: virtualization, lifting and transport system, maintainability, non-failure operation, durability, reliability.

Киркин Александр Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортная техника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: apkirkin@yandex.ru

Kirkin Alexandr, Cand. Sci (Tech.), associate professor of the «Lifting and transport equipment» Department of

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Киркина Татьяна Юрьевна, старший преподаватель кафедры «Прикладная математика», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Kirkina Tatiana, senior lecturer of the «Applied Mathematics» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 19.04.2023

УДК 621.874

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УДАРОВ

Климчук А. С.

IMPROVEMENT OF PROTECTION SYSTEM OF CLIMBING CRANES FROM HORIZONTAL BLOWS

Klimchuk A.S.

Статья посвящена совершенствованию конструкции устройств системы защиты грузоподъемных кранов от ударных нагрузок с возможностью максимального поглощения кинетической энергии кранов при взаимном их столкновении в процессе эксплуатации на общем рельсовом пути. В статье предложены устройства для повышения эффективности защиты мостовых кранов, которые реализуют режим без ударного гравитационного торможения при столкновениях кранов.

Ключевые слова: грузоподъемный кран, столкновение кранов, удар, защита кранов, буферные устройства, гравитационное торможение, устройство.

Введение. Для обслуживания технологических процессов производства, как правило, в одном пролете цеха, на одном рельсовом пути устанавливают несколько грузоподъемных машин для выполнения подъемно-транспортных операций с грузом в различных направлениях обслуживаемого пространства, работающих в режимах повторно-кратковременного включения механизмов с изменяющимися значениями ускорений и замедлений, с частыми пусками и остановками. В таких условиях эксплуатации грузоподъемных кранов, которые дополнительно могут усугубляться неисправностью и ненадежностью приборов безопасности, несогласованностью действий и неправильным выполнением операций, плохим обзором из кабины и ослаблением внимания машиниста, его профессиональной неопытностью или утомляемостью, наличием шума, вибрации, загазованности, запыленности и высокой или низкой температурой окружающей среды и другими причинами, иногда происходит и постоянно сохраняется потенциальная возможность столкновения кранов друг с другом и, как следствие, возникновение условий для их перегрузки и повреждения.

В связи с вышесказанным и учитывая тот факт, что грузоподъемные краны относятся к оборудованию повышенной опасности, и их аварии могут привести к серьезным катастрофам, опасным

для жизни людей, а также высокую стоимость их самих и их ремонта, первостепенное значение придается повышению требований к безаварийности их работы, совершенствованию конструкции устройств системы защиты и, в частности, буферных устройств, которые должны обеспечивать безопасную остановку кранов, что в свою очередь позволит защитить конструкции этих машин от разрушения при ударах, в условиях действия особых нагрузок, при столкновении кранов или наезде на тупиковые упоры.

Существующие конструкции крановых буферов с целью уменьшения габаритных размеров и материалоемкости в соответствии с действующими нормативами рассчитаны на поглощение лишь 15-25% всей кинетической энергии кранов, что приводит на практике к отказам, авариям и разрушениям тупиковых упоров, подкрановых строений и крановых металлоконструкций.

Поэтому исследование процессов горизонтальных ударных нагрузок кранов с целью повышения эксплуатационной эффективности системы защиты при взаимном их соударении путем определения основных параметров динамики столкновения кранов, а также создание устройств безопасности, реализующих новые способы безударного торможения кранов, актуальны и необходимы для обеспечения конкурентоспособности отечественных машин на мировом рынке.

Анализ последних исследований и публикаций. Расчет тупиковых и буферных устройств производится на восприятие кинетической энергии крана, движущегося со скоростью, равной половине номинальной (что соответствует четверти кинетической энергии крана, движущегося с номинальной скоростью), при ограничении уровня замедления крана значением 4 м/с^2 [1]. Выбор этого значения в качестве расчетной энергоемкости вызван стремлением уменьшить массу и габаритные размеры буферов и тупиковых упоров. Полагается, что снижение

скорости крана достигается за счет действия тормозов механизма передвижения, включающихся в момент срабатывания конечных выключателей. Однако не трудно показать, что установка конечных выключателей на расстоянии, равном половине тормозного пути мостовых кранов, как это предусмотрено «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов», обеспечивает (при равнозамедленном движении) снижение скорости крана только до $0,7V_n$. Кинетическая энергия крана с такой скоростью вдвое превышает энергоемкость буферов. Кроме этого, при установке конечных выключателей не учитывается запаздывание времени срабатывания тормозов, которое в зависимости от их конструкции и механического состояния может достигать значений $0,5 \div 0,8$ с. В практике эксплуатации все еще имеют место случаи установки коротких отводных линеек и ослабления пружин тормозов механизмов торможения. Все эти факторы повышают вероятность наезда кранов на тупиковые упоры со скоростями, близкими к номинальным.

Для мостовых кранов, работающих на открытом воздухе, возможно превышение номинальной скорости передвижения при уgone ветром. Расчеты показывают, что наиболее вероятные скорости uгона кранов при действии ветра со скоростным напором 270 Па не превышают значения 2 м/с.

С другой стороны, отсутствие средств и методики диагностирования состояния буферных устройств приводит к тому, что на кранах эксплуатируются буферы, упругие свойства которых не отвечают нормативным требованиям (несоответствие технических характеристик заданной энергоемкости, частичная или полная осадка пружин и потеря упругих свойств резины в процессе эксплуатации).

Все это, как показывают натурные испытания, являясь причиной того, что горизонтальные нагрузки на краны и подкрановые строения в $4 \div 6$ и более раз превышают допустимые значения.

Обследования [2] также показали, что при наездах кранов на тупиковые упоры со скоростями, близкими к номинальным, функцию амортизатора удара на ряду с буферами выполняют и тупиковые упоры (часто в связи с перекосом кранов один из тупиковых упоров), на разрушение которых затрачивается большая часть кинетической энергии движущегося крана.

Простое усиление тупиковых упоров и увеличение энергоемкости буферов приводят к значительному (в несколько раз) увеличению их габаритных размеров и материалоемкости, равно как и перенос места установки конечных выключателей сокращает полезную площадь, обслуживаемую краном, и поэтому не могут служить решением задачи повышения уровня надежности защиты кранов. Это свидетельствует о необходимости использования при проектировании конструкций буферных устройств новых подходов и принципов.

Повышение уровня надежности и безопасности при одновременном снижении материалоемкости и увеличении полезной площади, обслуживаемой мостовыми кранами, можно достичь применением гравитационного способа торможения, реализующего перевод кинетической энергии движущегося крана в потенциальную энергию подъема центра движущихся масс.

На основе опыта эксплуатации кранов, проведения глубокого патентного поиска, изучения специальной литературы выработаны требования к защитной системе мостовых кранов в целом [2]:

1. Система должна иметь небольшое число простых деталей.

2. Обеспечивать надежную остановку крана, движущегося на номинальной скорости и с наибольшим грузом. При этом замедление не должно превышать максимальной допустимой величины.

3. Система должна обеспечивать безопасную остановку неуправляемого (угон крана ветром, неудовлетворительное физическое состояние крановщика, сваривание контактов контроллера или контактора и т.д.) крана на концевых участках пути и при столкновении двух кранов.

4. Стоимость системы, габаритные размеры и вес должны быть невелики.

5. Техническое обслуживание должно обеспечиваться силами дежурных слесарей без привлечения специализированных ремонтных групп.

6. Система должна быть унифицированной для кранов мостового типа, а также для их тележек.

7. Система должна быть работоспособна в течение всего срока службы крана.

8. В момент срабатывания системы не должно быть ударов, превышающих максимально допустимую величину.

Чтобы выполнить изложенные выше требования, необходимо отказаться от тупиковых ударов, буферов, конечных выключателей и тормозов механизмов передвижения кранов и тележек на концевых участках пути, обеспечивающих остановку крана (тележки) при помощи удара.

В настоящее время получили признание и распространение гравитационные буферы в качестве устройств, совмещающих функции тупиковых упоров и буферов для грузоподъемных кранов [3]. Известны предложения по применению гравитационных буферов для защиты грузоподъемных кранов от ударов при взаимных столкновениях [4]. Рассмотренная в указанной работе конструкция гравитационного буфера имеет ряд эксплуатационных и конструктивных недостатков.

Цель статьи – создание для грузоподъемных кранов новых конструкций буферных устройств, работа которых основана на использовании гравитационного торможения.

Материалы и результаты статьи. На кафедре ПТТ ЛГУ им. В. Даля разработан ряд

гравитационных буферных устройств для защиты грузоподъемных кранов, работающих на общем рельсовом пути и соизмеримых по массе, от ударов при столкновениях.

В [5] для этой цели предложено устройство (рис. 1), состоящее из тормозного башмака 1, выполненного в виде рычага, одним концом закрепленного в шарнире 2 на концевой балке одного крана 3 и имеющего на втором конце двухребордный ролик 4. Рычаг удерживается в исходном положении усилиями рабочей 5 и демпфирующей 6 пружин, размещенных на проходящей вертикально через рычаг тяге 7, закрепленной на связанной с концевой балкой раме 8, при этом суммарное усилие пружин не должно быть больше нагрузки на приводное ходовое колесо крана, что не позволит колесам под рычагами оторваться от подкрановых рельсов. Положение рычага вдоль оси рельса фиксируется направляющим упором 9. На концевой балке другого крана 10 размещена неподвижно опора 11, выполненная в виде профилированной направляющей.

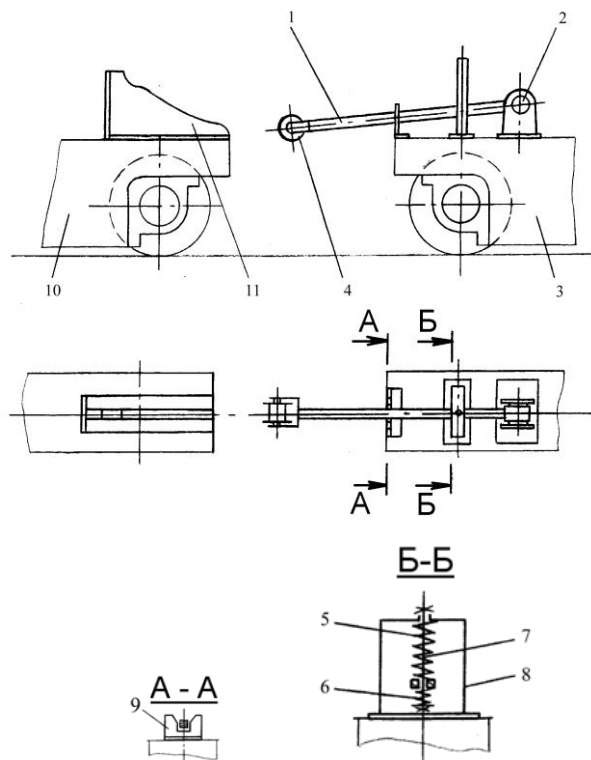


Рис. 1. Гравитационное буферное устройство

Тормозные башмаки 1 и опоры 11 смонтированы таким образом, чтобы обеспечивался безударный наезд первых на вторые и движение по линии профилированной направляющей.

Устройство для защиты крановых установок от ударов при столкновениях работает следующим образом: при сближении кранов кран 3, оборудованный тормозными башмаками 1, накатывается двухребордными роликами 4 на

профилированные направляющие опор 11 крана 10, при этом кинетическая энергия обоих кранов переходит в потенциальную энергию упругости сжимаемой рабочей пружины 5 и растягивающейся демпфирующей пружины 6, по окончании этого процесса тормозные башмаки 1 скатываются с опор 11 и фиксируются в нерабочем положении направляющим упором 9, одновременно демпфирующая пружина 6 гасит колебания тормозного башмака от усилия упругости рабочей пружины 5.

В [6] предложено гравитационное буферное устройство для защиты грузоподъемных кранов от ударов при столкновениях (рис. 2).

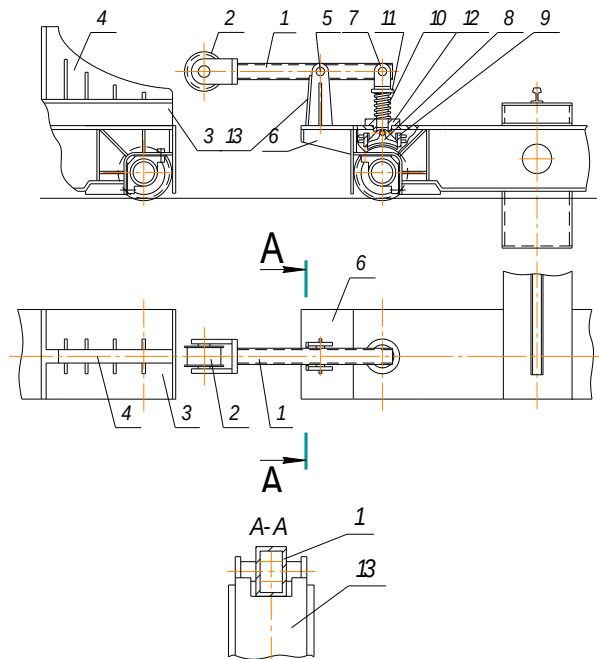


Рис. 2. Устройство для защиты грузоподъемных кранов от ударов при столкновениях

Устройство состоит из тормозного рычага 1, оборудованного на торце консоли длинного плеча вращающимся двухребордным роликом 2, накатывающимся на расположенную на конце верхней крайней части концевой балки другого крана опору 3 по профилированной направляющей 4. Рычаг 1, закрепленный с помощью шарнира в опоре 5, установленной на дополнительном кронштейне 6 и смещенной относительно вертикальной оси ходового колеса крана к ближайшему торцу концевой балки, и через вертикальную тягу 7 соединенный шарниром с концом консоли его короткого плеча, передает тормозное усилие на ходовое колесо крана путем прижатия к его беговой дорожке тормозной колодки 8, перемещающейся в направляющих 9. Возвратная пружина 10 насажена на тягу и сжата между упором 11, расположенным в верхней ее части, и подпятником 12, закрепленным в концевой балке крана, через который проходит тяга. Тормозной рычаг 1 в исходном положении поддерживается упором 13.

Устройство для защиты грузоподъемных кранов от ударов при столкновениях работает следующим образом. При сближении и взаимодействии двух кранов тормозной рычаг 1, установленный на конце верхней части концевой балки первого крана, накатывается вращающимся двухребордным роликом 2, расположенным на конце длинной консоли рычага, на жестко закрепленную на конце верхней части концевой балки другого крана опору 3, по профилированной направляющей 4. При этом по мере подъема ролика по профилированной направляющей рычаг поворачивается в вертикальной плоскости своей шарнирной опоры 5 вдоль продольной оси подкранового рельса, установленной на дополнительном кронштейне 6 и через вертикальную тягу 7, соединенную шарниром с концом его короткой консоли, передает тормозное усилие на ходовое колесо крана путем прижатия к его беговой дорожке тормозной колодки 8, перемещающейся в направляющих 9. При дальнейшем накатывании ролика на опору 3, когда тормозная колодка уже прижата к ходовому колесу, начинается подъем центра масс первого крана относительно точки контакта второго его колеса с подкрановым рельсом, происходит преобразование кинетической энергии взаимодействующих кранов в потенциальную. По окончании этого процесса под действием собственной силы тяжести начинается откат первого крана до приобретения им исходного горизонтального положения. При этом как только ролик 2 выйдет из контакта с направляющей 4 и ходовое колесо крана, расположенное рядом с опорой рычага, коснется рельса, пружина 10, до этого дополнительно сжимаемая во время взаимодействия кранов между упором 11 и пятой 12, разжимаясь, приведет шарнирную систему рычага и тяги в исходное положение и отведет тормозную колодку 8 от ходового колеса, растормозив его, а тормозной рычаг 1 займет исходное горизонтальное положение, опершись на упор 13.

Выводы. 1. Использование принципа гравитационного торможения в буферных устройствах обеспечивает плавную остановку и возврат кранов в исходное положение после столкновения, предохраняет крановые конструкции от динамических ударов, обеспечивает остановку кранов без действия тормозов, позволяет отказаться от применения недостаточно надежной системы отключения механизмов передвижения кранов, реализует полное погашение кинетической энергии движущихся кранов в случае их столкновения или наезда на тупиковые упоры.

2. Рассмотренный принцип гравитационного торможения кранов дает возможность проектировать новые буферные устройства, работающие практически безотказно с энергоемкостью, которая соответствует полной кинетической энергии крана, движущегося с

номинальной скоростью. Однако из-за неуправляемости процессом отката после столкновения кранов при гравитационном торможении эти устройства пока не получили должного распространения, что требует соответствующей конструктивной доработки.

Л и т е р а т у р а

1. Гохберг М.М. и др. Справочник по кранам / под общ. ред. М.М. Гохберга. – Л.: Машиностроение, т. 2, 1988. – 559 с.
2. Дейнега В.И. Защита мостовых кранов от ударов при наездах на тупиковые упоры: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.05. – Харьков, 1987. – 17 с.
3. Федосеев В.Н. Приборы и устройства безопасности грузоподъемных машин; Справочник. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
4. Мартынов А.В. Столкновение кранов, оборудованных гравитационными буферами // Конструирование и производство транспортных машин. Харьков, «Основа». – 1996. – № 22. – С. 80-84.
5. Климчук А.С., Турушин В.А., Никишкин Ю.А. Устройство для защиты крановых установок от ударов при столкновениях. Декларационный патент Украины № 54027А. Бюл. № 2, от 17.02.2003.
6. Климчук А.С., Климчук С.А., Неженцев А.Б., Аветисян С.М. Устройство для защиты грузоподъемных кранов от ударов при столкновениях. Патент на полезную модель № 22506. Бюл. № 5, от 25.04.2007.

Klimchuk A.S.

IMPROVEMENT OF PROTECTION SYSTEM OF CLIMBING CRANES FROM HORIZONTAL BLOWS

The article is devoted to improving the design of the article is devoted to improving the design of devices for protecting lifting cranes from shock loads with the possibility of maximum absorption of the kinetic energy of cranes in case of their mutual collision during operation on a common rail track. The article proposes devices to improve the protection efficiency of overhead cranes, which implement a mode without impact gravitational braking during crane collisions.

Key words: climbing crane, cranes collision, blow, cranes protection, buffer unit, gravitational braking, device.

Климчук Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Подъемно-транспортная техника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет им. В. Даля».
E-mail: klimchuk_a_s@mail.ru

Klimchuk Aleksandr, senior lecturer of the «Lifting and transport equipment» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой транспортных технологий, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет им. В. Даля».

Статья подана 15.04.2023

УДК 539.3:629.7

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

Коструб В. А., Антипов И. В., Вербская Л. М.

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS IN THE STRUCTURES OF ROAD-BUILDING AND LIFTING-TRANSPORT EQUIPMENT

Kostrub V. A., Antipov I. V., Verbskaya L. M.

Рассмотрены особенности неметаллических композиционных материалов, проведен анализ их свойств и эффективности применения в качестве элементов конструкций транспортно-технологических систем в условиях высоких динамических нагрузок, значительных перепадов температур и наличия агрессивных сред, предложены рекомендации по их использованию в конструкциях дорожно-строительных и подъемно-транспортных машин и проведена оценка перспектив их применения.

Ключевые слова: композиционный материал, эффективность применения, дорожно-строительная и подъемно-транспортная техника, физико-механические характеристики.

Введение. Как известно, композиционные материалы (КМ) – это гетерогенные системы, которые, благодаря объединению в один материал двух и более разнородных компонентов, обладают целым рядом зачастую уникальных свойств. Наибольшее распространение приобрели волокнистые композиты, структура которых представляет собой армирующий волокнистый наполнитель (арматура), пропитанный связующим (матрица) и подвергнутый полимеризации. В качестве арматуры могут выступать волокна, жгуты, маты, ткани из стеклянных, углеродных, органических и т.п. волокон. Матрицей для них являются разного рода термопластичные или термореактивные связующие, из которых наиболее распространены эпоксидные и полиэфирные смолы горячего или холодного отверждения. Благодаря возможности широкого варьирования арматурой и одновременным использованием нескольких ее видов, применению различных схем и методов армирования в сочетании с разными связующими, можно получать материалы с широчайшим, подчас уникальным, набором свойств. Обладая высокими удельными физико-механическими характеристиками, антикоррозионной и химической

стойкостью, специальными радиофизическими и электротехническими свойствами, композиционные материалы получают все большее распространение в различных областях науки и техники. В первую очередь это относится к авиакосмической и оборонной технике и объектам космического базирования. По мере совершенствования технологий получения армирующих и связующих материалов, а также разработки новых методов переработки их в изделия, область применения композитов стала расширяться. Это связано как с применением прогрессивных технологий, так и с существенным снижением стоимости получаемых композитных изделий. В элементах конструкций кузова и силовых несущих элементах автомобилей КМ применяются весьма широко. Это же относится и к судостроению, спортивным принадлежностям, строительству и т.д.

Содержание исследования. Подъемно-транспортные и дорожно-строительные машины, элементы которых подвержены значительным знакопеременным динамическим нагрузкам, пока изготавливаются из сталей и сплавов по традиционным технологиям.

В то же время уже существуют материалы и технологии, позволяющие применять композиты для изготовления элементов конструкций подъемно-транспортной и дорожно-строительной техники [1].

На рис. 1 показано изменение объемов производства по годам изделий из КМ и стали, где виден неуклонный рост применения композитов [4].

Как известно, волокнистые КМ обладают высокой ударной прочностью и способностью поглощать энергию ударов и вибрации, присущих ПТМ и ДСТ. Такие машины зачастую работают при высокой влажности, в агрессивных средах, при повышенных или пониженных температурах, то есть в условиях, приемлемых для композитов, но негативных для металлов.

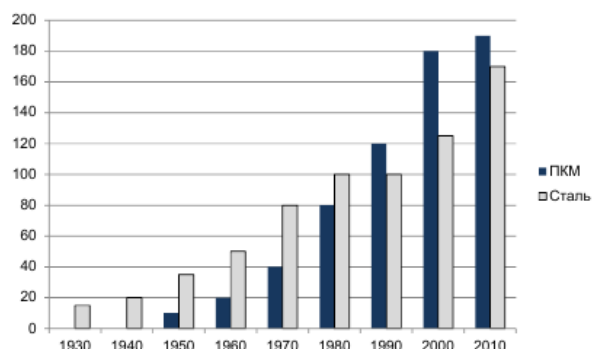


Рис. 1. Объемы производства изделий из стали и КМ по годам, млн м³

Отдельно следует отметить технологичность КМ. Более низкая температура переработки, высокий уровень пластичности, возможность получения изделий с заранее заданными свойствами обеспечивают композитным изделиям существенные преимущества по технологичности производства изделий на их основе в сравнении с металлами. При этом особенности технологии изделий из КМ позволяют отказаться от ряда специальных проектно-конструкторских и технологических мероприятий, присущих изделиям из металлов.

Возможность создания изделий с заранее заданными физико-механическими характеристиками позволяет обеспечить оптимальные эксплуатационные свойства деталей машин и повысить их надежность и долговечность.

Отходы при изготовлении композитных изделий составляют не более 10...30% материала, в то время как у аналогичных деталей из высокопрочных сплавов отходы могут в 2...6 раз превышать массу готового изделия. Кроме того, процессы изготовления композитных изделий требуют меньших трудозатрат и меньшего

энергопотребления при меньшем числе производственных циклов. В табл. 1 показано сравнение удельных затрат энергии при изготовлении изделий из различных металлов и угле-эпоксидного композита. Видно, что применение КМ обеспечивает, кроме всего прочего, существенную экономическую эффективность.

Таблица 1
Удельные затраты энергии на производство изделий из различных материалов

Материал	Удельные затраты энергии, кВт ч	
	Расчет на 1 кг материала	Расчет на 1 кг изделия
Углепластик	33...35	72...74
Алюминий	48...50	390...395
Сталь	35...37	220...225
Титан	188...190	1540...1550

В зависимости от назначения можно подобрать вид КМ и метод его изготовления, позволяющий получить изделия, обладающие высокой эластичностью или повышенной механической прочностью, температурной и химической стабильностью, высокими электроизоляционными свойствами или хорошей электропроводностью, обеспечить прочностные и упругие свойства изделия в заданных направлениях и т.п.

Изделия из КМ обладают также более длительной продолжительностью эксплуатации благодаря высокой износостойкости (табл. 2).

Как показывает мировой опыт [5], в ряде тяжелонагруженных узлов дорожно-строительных машин альтернативы использованию элементов и узлов из композиционных материалов просто не существует. Примером является применение в конструкции балансирующего узла дорожной машины Caterpillar-16G и автогрейдера ДЗ-140А втулок и шайб из КМ.

Таблица 2

Продолжительность эксплуатации деталей из КМ при различных температурах

Вид связующего	Области применения	Температура эксплуатации, °С	Продолжительность эксплуатации, час
Эпоксидное	Восстановление посадочных мест	≈150	≤30000
Фенольное	Дисковые тормозные колодки	≈150	≤35000
Акрилатное	Крепление кронштейнов	≤100	≤10000
Кремнийорганическое	Герметизация соединений	≤100	≤5000

Из полимерных композиционных материалов может изготавливаться целый спектр элементов конструкций: тормозные колодки [2], несущие силовые элементы [1], разного рода кузовные детали (рис. 2) и т.д. Применение элементов конструкций из КМ позволяет снизить ударные нагрузки и вибрацию, а следовательно, улучшить плавность работы и уменьшить шумность машин;

высокая износостойкость и отсутствие коррозии (в том числе электрохимической) продляет срок их эксплуатации.

В настоящее время производство подъемно-транспортной техники составляет 9,5% мирового машиностроения, производство дорожно-строительных машин – 6%, и эта доля ежегодно возрастает [3]. Таким образом, все более

актуальным становится вопрос применения КМ в конструкциях ПТМ и ДСТ. Это влечет за собой необходимость разработки конструкции соответствующих материалов, их расчета и создания технологии их изготовления.



Рис. 2. Применение КМ в конструкциях дорожно-строительных машин

Выводы. Учитывая существующие в мире тенденции роста производства ПТМ и ДСТ, а также необходимость создания образцов такой техники на уровне, отвечающем современным требованиям, следует расширять исследования по внедрению в производство подъемно-транспортных, дорожных и строительных машин конструкции и их элементы, изготовленные на основе композиционных материалов.

Л и т е р а т у р а

1. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учеб. пособие / Н.И. Баурова, В.А. Зорин. – М.: МАДИ, 2016. – 264 с.
2. Фрикционные материалы на базе углерод-углеродных и углерод-асбестовых волокон для тормозных устройств // В.Н. Старченко, В.А. Гурин, В.П. Быкадоров, Е.Н. Шапран // Железные дороги мира. – 2006. – № 2. – С. 38-42.
3. Каблов Е.Н. Стратегические направления создания материалов и технологий их переработки на период до 2030 года / Е.Н. Каблов // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 5. – С. 7-17.
4. Андреева А.В. Основы физикохимии и технологии композитов: учеб. пособие / А.В. Андреева. – М.: ИПРЖР, 2001. – 192 с.
5. Дементьева Л.А. Применение композиционных материалов на основе клеевых препрегов в машиностроении / Л.А. Дементьева, Н.Ф. Лукина, А.П. Петрова, К.Е. Куцевич // Все материалы Энциклопедический справочник. – 2014. – № 8. – С. 11-17.

Kostrub V.A., Antipov I.V., Verbskaya L.M. PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS IN THE STRUCTURES OF ROAD-BUILDING AND LIFTING-TRANSPORT EQUIPMENT

The features of non-metallic composite materials are considered, the analysis of their properties and effectiveness of their use as structural elements of transport and technological systems under conditions of high dynamic loads, significant temperature differences and the presence of aggressive environments is carried out, recommendations are proposed for their use in the construction of road-building and hoisting-and-transport machines. and assessed the prospects for their application.

Key words: composite material, application efficiency, road-building and lifting and transport equipment, physical and mechanical characteristics.

Коструб Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортная техника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: vkostrub@mail.ru

Kostrub Vladimir, candidate of technical Sciences, Associate Professor of the Department "Lifting and transport equipment", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Антипов Игорь Владиславович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Подъемно-транспортная техника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: iantypov@ukr.net

Antipov Igor, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Lifting and transport equipment», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Вербская Людмила Михайловна, старший преподаватель кафедры «Подъемно-транспортная техника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: lusikoverbskaya@mail.ru

Verbskaya Lyudmila, Art. teacher of the department "Lifting and transport equipment", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Статья подана 21.04.2023

УДК 621.874

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ВО ВРЕМЯ ПУСКА МОСТОВОГО КРАНА

Коструб В. А., Мирошников А. А., Рекиян П. Н.

DYNAMIC LOAD ANALYSIS DURING STARTING AN OVERHEAD CRANE

Kostrub V. A., Miroshnikov A. A., Rekiyan P. N.

Рассмотрено свободное движение мостового крана с отдельным приводом механизма передвижения при пуске и его силовое воздействие с подкрановыми путями с учетом упругости металлоконструкции, гибкого подвеса груза, упругого скольжения ходовых колес по рельсам и их монтажного перекоса.

Ключевые слова: мостовой кран, привод, движение, металлоконструкция.

Введение. Как известно, расчетная математическая модель динамического нагружения мостового крана [1] описывается исходя из следующих предпосылок: подкрановый путь прямолинейен, а пролеты крана и пути L_k равны; подкрановые конструкции абсолютно жесткие; волновые явления в упругих связях не учитываются; перекося крана (угол φ) и отклонения гибко подвешенного груза (угол α) – малые величины; отдельные приводы идентичны, а двигатели при пуске развивают постоянный среднестартовый момент; ходовые колеса находятся в режиме упругого скольжения; коэффициент упругого скольжения детерминирован и равен $k_c \approx 18^4 \cdot 10^4 \cdot \sqrt{P \cdot D}$, Н (P – вертикальная нагрузка на колесо, D – диаметр колеса, м).

На рис. 1 приведена схема упругого деформированного крана, двигающегося вдоль оси y , где m_A и m_B – масса сторон крана, включая концевые и продольные балки и вращающиеся части приводов; m_T – масса тележки ($\xi = \frac{l_x}{L_k}$); m_G – масса груза; Z_y – относительное упругое смещение сторон; Z_c – относительное смещение сторон из-за упругого поперечного скольжения колес по рельсам (углы поворота сторон для двухбалочных кранов $\varphi_{CA} \cong \varphi_{CB}$); Z_T – перемещение массы тележки; Z_G – перемещение массы груза; T_A и T_B – тяговые силы; W_A и W_B – сопротивление передвижению.

В то же время не исследовано влияние изменения направления движения крана на величину средней инерционной силы, что может оказывать существенное влияние на траекторию движения крана.

Изложение основных материалов.

Математическая модель движения мостового крана при пуске описывается следующим образом. Сила, приводящая массу тележки в движение, представляет собой упругую силу продольных балок (C_T – жесткость балок в плане)

$$F_T = c_T Z_T. \quad (1)$$

Усилие от натяжения гибкого элемента, на котором подвешен груз

$$F_z = m_z g \frac{z_z \cdot z_T}{l} = c_z (z_z z_T), \quad (2)$$

где $C_z = \frac{m_z g}{l}$ – условная жесткость гибкого подвеса ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

Сила упругой деформации, составляющая часть избыточной силы забегающей стороны (сторона Б)

$$F = c z_y, \quad (3)$$

где c – жесткость металлоконструкции моста.

На кран в плане действует момент от силы F , уравновешиваемый момент сил S_c упругого поперечного скольжения приводного и ходового скатов по рельсам

$$M = c z_y L_K = S_{cn} K = S_{cx} K. \quad (4)$$

Из возможных поперечных сил рассмотрим силу S_p от разности вертикальных нагрузок на конические колеса, которая направлена вдоль оси приводного ската и определяется по формуле

$$S_p = 0,5(k - 0,035\alpha_p)(P_{nA} - P_{nB}), \quad (5)$$

где k и α_p – конусность колеса и угол их развала.

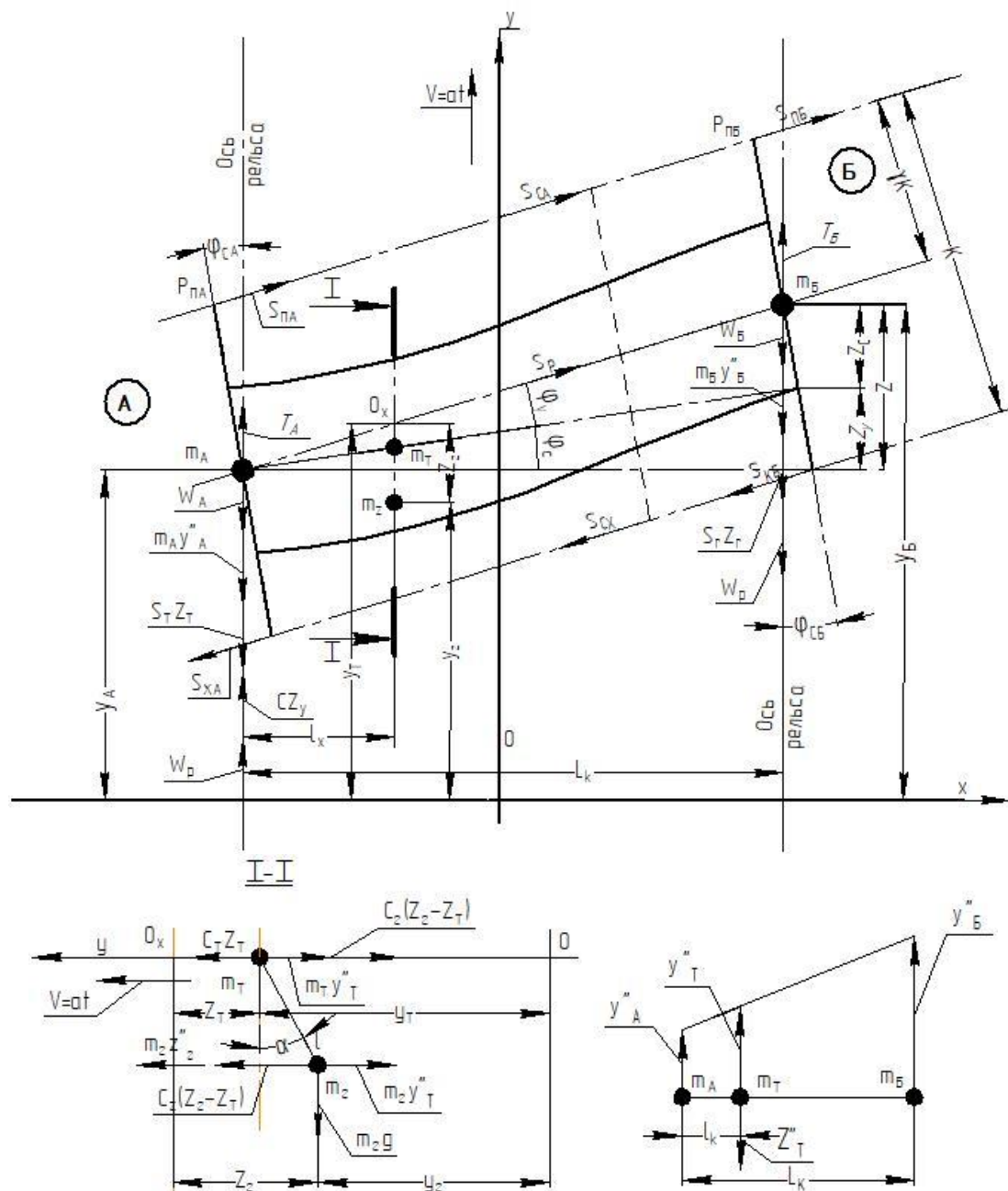


Рис. 1. Схема мостового крана

Переноса S_p на ось, проходящую через центр вращения (центр масс), получаем силу, сдвигающую кран поперек рельсового пути, и момент $M_p \approx \gamma K S_p$, порождающий добавочное сопротивление передвижению

$$W_p \approx \gamma S_p \frac{K}{L_k}, \quad (6)$$

где γ – коэффициент, определяющий положение центра масс (рис. 1).

Разность перемещения масс m_A, m_B

$$y_B - y_A = z_y + z_c. \quad (7)$$

Учитывая изгибную деформацию продольных балок моста, определим абсолютное перемещение тележки (рис. 1):

$$y_T = (1 - \xi)y_A + \xi y_B - z_T. \quad (8)$$

Для нахождения функции, связывающей перемещения Z_y и Z_c , допустим, что центр масс крана и ходовые колеса при разгоне движутся равноускоренно по одному и тому же закону $v = at$. Это не вполне точно, особенно в начале движения [1, 2], однако, ввиду кратковременности периода разгона, примем вышеуказанное

упрощение, тогда скорость упругого скольжения колес по рельсам при вращательном движении крана в зависимости от осевой силы получим в виде.

$$v_{CN} = at \frac{S_{CN}}{k_{CN}}. \quad (9)$$

Используя (4), скорость и ускорение относительного перемещения сторон, обусловленного поперечным скольжением колес, получаем:

$$\left. \begin{aligned} \dot{z}_C &= v_{cn} \frac{L_K}{\gamma K} = -\frac{acL_K^2}{\gamma k_{cn} K^2} z_y t = Az_y t, \\ \ddot{z}_C &= Az_y t + Az_y \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где A – постоянная; a – ускорение крана.

Уравнения равновесия для массы тележки m_T и массы груза m_T , с учетом формулы (8), можно записать так (рис. 1):

$$(1-\xi) \ddot{y}_A + \xi \ddot{y}_B - \ddot{z}_T - \frac{c_T + c_\Gamma}{m_T} z_T + \frac{c_\Gamma}{m_T} z_\Gamma = 0; \quad (11)$$

$$(1-\xi) \ddot{y}_A + \xi \ddot{y}_B - \ddot{z}_T - \ddot{z}_\Gamma + \frac{c_\Gamma}{m_T} z_T - \frac{c_\Gamma}{m_T} z_\Gamma = 0. \quad (12)$$

Условия равновесия для масс m_A, m_B (верхний знак – приводные колеса впереди, нижний – сзади)

$$\ddot{y}_A - \frac{c}{m_A} z_y + (1-\xi) \frac{c_T}{m_A} z_T = \frac{T_A - W_A \pm W_p}{m_A}; \quad (13)$$

$$\ddot{y}_B + \frac{c}{m_B} z_y + \xi \frac{c_T}{m_B} z_T = \frac{T_B - W_B \pm W_p}{m_B}. \quad (14)$$

Если на основании формул (7) и (10) записать, что

$$\ddot{y}_B - \ddot{y}_A = z_y + Az_y t + Az_y, \quad (15)$$

то уравнения (11)-(15) образуют систему, позволяющую определить движение и силы при разгоне четырехколесного мостового крана.

$$\left. \begin{aligned} \ddot{z}_y - A_1 \ddot{z}_T + A_2 \ddot{z}_\Gamma + Ax_y t + A_3 z_y + A_4 z_T + A_5 z_\Gamma &= a'_0 \\ \ddot{z}_y + A_6 z_y t + A_7 z_T &= a_0 \\ \ddot{z}_\Gamma - A_8 z_T + A_9 z_\Gamma &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

где A_i, a_0, a'_0 – постоянные, зависящие от величины масс, их взаимного положения, жесткости связей и характеристики привода.

Решение системы (16) может быть проведено с помощью ЭВМ. С учетом (10) решение для всех переменных может быть получено как функции времени в виде $z_i = f_i(t)$. Так как колебания массы тележки малы и быстро затухают, почти не влияя на движение крана, ими можно пренебречь. Тогда

боковые нагрузки на приводные колеса крана при разгоне можно определить по формулам:

$$\left. \begin{aligned} S_{nA} &= \frac{[cz_y L_K + (1-\gamma)KS_p] \sqrt{P_{nA}}}{K(\sqrt{P_{nA}} + \sqrt{P_{nB}})} \\ S_{nB} &= \frac{[cz_y L_K + (1-\gamma)KS_p] \sqrt{P_{nB}}}{K(\sqrt{P_{nA}} + \sqrt{P_{nB}})} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Для холостых колес вместо $1-\gamma$ нужно подставить $-\gamma$ и изменить индекс «n» на «x».

Траектория движения крана находится по углу отклонения плоскости вращения колес относительно оси подкрановых рельсов с учетом поперечного сдвига от силы S_p . Дифференциальное уравнение движения здесь представляется в виде

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dy} &\approx -\varphi_{TP} = -(\varphi_C + k_y \varphi_y - \varphi_p) \approx \\ &= -\left(\frac{z_C}{L_K} + \frac{k_y z_y}{L_K} - \frac{S_p}{k_{cn} + k_{cx}} \right), \end{aligned} \quad (18)$$

где φ_{TP} – угол наклона траектории крана к оси y ;

$\varphi_C \approx \frac{z_C}{L_K}$ – угол отклонения плоскости вращения (диска) колеса относительно оси подкрановых рельсов за счет перекоса крана при упругом скольжении колес по рельсам; $\varphi_y \approx \frac{k_y z_y}{L_K}$ – то же за

счет упругой деформации моста; k_{cn}, k_{cx} – коэффициенты упругого скольжения соответственно для приводного и холостого ската; $k_v = 0-1$ – коэффициент, учитывающий несовпадение угла упругого перекоса крана и угла отклонения плоскости вращения колес от рельсов при упругой деформации моста и зависящий от конструкции, жесткости и размеров элемента моста.

В уравнении (18) z_c, z_y являются функции времени t , однако, полагая движения равноускоренным, можно получить решение (18) в виде

$$x = x_0 - \frac{1}{L_K} \int f_c^*(y) dy - \frac{k_y}{L_K} \int f_y^*(y) dy + \frac{S_p}{k_{cn} + k_{cx}} y, \quad (19)$$

где $f_c^*(y)$ и $f_y^*(y)$ – некоторые функции y , определяющие соответственно $z_c, z_y : x_0$ – начальное смещение крана.

Учитывая малость угла φ_{TP} и имея численные значения функций $f_c^*(y)$ и $f_y^*(y)$, можно найти траекторию движения упрощенно по формуле.

$$x \approx x_0 - \left[\frac{f_c^*(y)}{L_K} + \frac{k_y f_y^*(y)}{L_K} - \frac{S_p}{k_{cn} + k_{cx}} \right] y, \quad (20)$$

где x_0' – исходное смещение вдоль оси x для данного интервала пути.

На рис. 2 приведено графическое изображение решения уравнений (16) и (19) применительно к мостовому крану общего назначения грузоподъемностью 150 кН с пролетом 28,5 м.

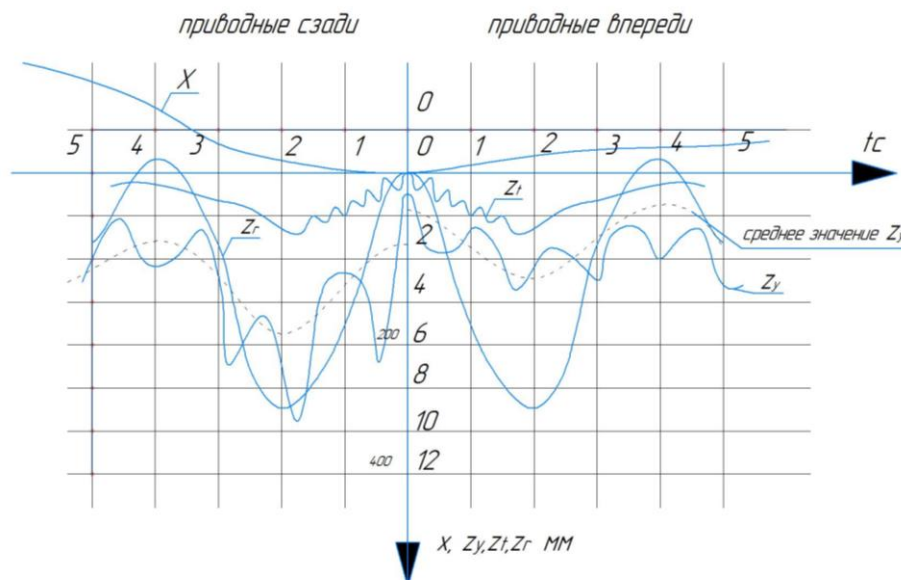


Рис. 2. Движение и перемещение масс крана с грузом 125 кН ($l = 5$ м; $l_x = 8$ м)

Выводы. 1. Колебания носят гармонический затухающий характер, что обусловлено поглощением энергии при упругом скольжении колес.

2. Осевые усилия на скатах от неодинаковой нагрузки на конические ходовые колеса, монтажного перекоса и др. не изменяют характер колебательных процессов, но существенно влияют на величину средней инерционной силы в зависимости от направления движения крана (приводные спереди или сзади).

3. Высокочастотные колебания продольных балок моста из-за их малости и быстрого затухания можно не учитывать при определении закона движения крана на путях.

Л и т е р а т у р а

1. Вульфсон И.И. Динамика машин. Колебания: учебное пособие для вузов / И.И. Вульфсон. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 275 с.
2. Белокобыльский С.В. Динамика механических систем. Рычажные и инерционно-упругие связи / С.В. Белокобыльский, С.В. Елисеев, И.С. Ситов. – СПб.: Политехника, 2015. – 319 с.

Kostrub V.A., Miroshnikov A.A., Rekiyan P.N. DYNAMIC LOAD ANALYSIS DURING STARTING AN OVERHEAD CRANE

The article considers the free movement of an overhead crane with a separate drive of the movement mechanism during start-up and its force impact with crane runways, taking into account the elasticity of the metal structure, flexible load suspension, elastic sliding of the running wheels along the rails and their mounting misalignment.

Key words: overhead crane, drive, movement, metal structure.

Коструб Владимир Алексеевич, к.т.н., доц., зав. кафедрой «Подъемно-транспортная техника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: lugu_ptt@mail.ru

Kostrub Vladimir, candidate of technical Sciences, associate professor, man. of department of the «Hoisting-and-transport equipment» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Мирошников Алексей Александрович, ст. преп. кафедры «Подъемно-транспортная техника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Miroshnikov Aleksey, senior teacher of the «Chair Hoisting-and-transport equipment» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рекиян Павел Николаевич, ст. преп. кафедры «Подъемно-транспортная техника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Rekiyan Pavel, senior teacher of the «Chair Hoisting-and-transport equipment» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт»,

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет
имени Владимира Дала».

Статья подана 25.04.2023

УДК 658.075

ВЫБОР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРОДУКЦИИ

Коструб О.М., Собко В.А., Иванова Е.И., Тасанг Э.Х., Ключев А.С.

SELECTION AND DEFINITION OF THE NOMENCLATURE OF QUALITY INDICATORS THAT ENSURE THE COMPETITIVENESS OF PRODUCTS

Kostrub O.M., Sobko V.A., Ivanova E.I., Tasang E.H., Kluev A.S.

В статье рассмотрена методика выбора номенклатуры основных показателей качества, обеспечивающих конкурентоспособность продукции. Для выделения номенклатуры показателей качества предложен метод интегральной оценки качества продукции, синтезированный с методом статистической обработки априорной информации (априорного ранжирования).

Ключевые слова: качество продукции, показатели качества, номенклатура показателей, конкурентоспособность, международные стандарты.

Введение. Повышение эффективности экономики страны тесно связано с ростом качества продукции. Оценка уровня качества продукции – это, прежде всего, выбор номенклатуры показателей качества, определение их значений и сопоставление с аналогичными показателями лучших мировых образцов.

При этом необходимо совершенствовать методы оценки уровня качества продукции на всех стадиях жизненного цикла, исходя из требований международных стандартов (ИСО 9000) и определяя критерии качества в расчете на потребительский рынок и конкурентоспособную продукцию. В основу регламентации выбора и оптимизации номенклатуры показателей качества продукции следует положить технико-экономические критерии.

Выявление такой номенклатуры: обеспечивает достоверность результатов оценки технического уровня и качества продукции; определяет перспективы развития данной продукции в прогнозируемый период; обеспечивает возможность сопоставления технического уровня и качества продукции с зарубежными аналогами; способствует разработке и внедрению новых технических решений.

Целью работы является разработка методики выбора номенклатуры основных показателей качества, обеспечивающих конкурентоспособность

продукции, на примере низкотемпературных винтовых компрессорных агрегатов.

Изложение основных материалов.

Исследуемые низкотемпературные винтовые компрессорные агрегаты (ВКА) относятся к классу промышленной продукции, расходующей свой ресурс, к группе ремонтируемых изделий.

Проведенный анализ отечественных и зарубежных каталогов и проспектов на ВКА [1], исследование фонда научно-технической документации позволили установить исходную априорную номенклатуру показателей качества и экономических показателей агрегатов.

Предлагаемая методика показывает, как можно синтезировать метод интегральной оценки качества продукции с методом статистической обработки априорной информации для выделения номенклатуры показателей качества, обеспечивающих конкурентоспособность продукции при исследовании аналитической зависимости эффективности использования продукции от показателей качества [5]:

$$I_k = \frac{P_3}{3} = F(P_1, P_2, \dots, P_n), \quad (1)$$

где I_k – интегральный показатель качества;

P_3 – полезный эффект единицы продукции в процессе ее потребления;

3 – затраты;

P_1 и $P_2, \dots, P_n$ – показатели качества и экономические показатели.

Полезный эффект от эксплуатации низкотемпературного винтового компрессорного агрегата можно представить в следующем виде:

$$P_3 = f(Q_0, t_{\text{кан}}, h, K_{p.v}), \quad (2)$$

где Q_0 – холодопроизводительность, кВт;

$t_{\text{кан}}$ – ресурс до капитального ремонта, ч;

h – число капитальных ремонтов;

$K_{p.v}$ – коэффициент рабочего времени или среднегодовая наработка на отказ в зависимости от условий эксплуатации.

Затраты можно выразить формулой:

$$Z = Z_p + Z_{II} + Z_{II} + Z_T, \quad (3)$$

где Z_p , Z_{II} , Z_{II} , Z_T – соответственно затраты на разработку, изготовление продукции, на потребление единицы продукции за весь срок службы, на транспортирование продукции.

Затраты на разработку, изготовление и потребление можно рассматривать как экономическую оценку качества продукции и мероприятий, связанных с его повышением [4].

Анализ каждого показателя зависимости (1) позволил выявить девять основных показателей качества и экономических показателей, влияющих на I_k . В их числе такие как холодопроизводительность, потребляемая мощность, затраты на ремонт и техническое обслуживание, габаритные размеры и т. д.

Интегральный показатель качества продукции I_k является критерием эффективности взаимоотношений изготовителя, поставщика и потребителя. Он показывает, что повышение качества требует дополнительных затрат изготовителя, однако при этом сокращается количество дефектов, ремонтов, что в целом приводит к снижению затрат потребителя и повышению производительности труда [3].

Кроме того, если качество продукции отвечает требованиям рынка, возрастает объем ее реализации, что создает дополнительный эффект – эффект увеличения масштаба продажи, обеспечивая высокую конкурентоспособность.

В комплексе с исследованием аналитической зависимости (1) применен метод статистической обработки априорной информации (априорного ранжирования [2]). Для этого были созданы две экспертные группы. В одну входили специалисты по разработке и внедрению новой техники, испытанию продукции, автоматизации и управления производством, стандартизаторы, в другую – потребители исследуемой продукции: работники пищевой промышленности, службы быта и т. д. Экспертные группы могут быть сформированы из специалистов, отслеживающих требования и уровень рынка, занимающихся проблемами маркетинга как для внутреннего, так и для внешнего рынка.

Каждой группе был предложен один и тот же список исходной номенклатуры показателей качества ВКА. Как и при исследовании аналитической зависимости, оптовая цена заранее оговорена и устраивает обе стороны – потребителя и изготовителя.

Проведено определение согласованности мнений экспертов, так как при низкой согласованности анализ номенклатуры показателей не имеет смысла. Эта согласованность определяется с помощью коэффициента конкордации – ω . Для первой группы экспертов $\omega_1 = 0,47$, для второй $\omega_2 = 0,40$. При оценке значимости коэффициента конкордации рассчитывается критерий Пирсона

$\chi^2_{\text{расч}}$ для каждого ω и сравнивается с табличным $\chi^2_{\text{табл}}$.

И для первой и для второй групп экспертов $\chi^2_{\text{расч}} > \chi^2_{\text{табл}}$.

В этом случае можно утверждать, что согласованность мнений экспертов достаточная и проведенное ранжирование показателей низкотемпературных винтовых компрессорных агрегатов достаточно надежно.

Значимость контролируемых показателей определяется коэффициентом значимости:

$$K_i = \frac{mn - S_i}{0,5mn(n-1)}, \quad (4)$$

где S_i – сумма оценок (рангов) показателя;
 n – число контролируемых параметров;
 m – число экспертов.

Из этих показателей выделяют наиболее значимые, для которых

$$K_i > \frac{1}{n}. \quad (5)$$

Анализ результатов опроса групп экспертов выявил две группы основных показателей ВКА, которые имеют как общие, так и различные показатели качества.

Выводы. В результате проведенного исследования получены три варианта номенклатуры показателей качества ВКА. Из них можно выделить те, которые встречаются во всех трех вариантах: холодопроизводительность и потребляемая мощность. Остальные встречаются в двух или одном варианте. В первом случае таких показателей восемь, во втором – четыре.

Применение предложенной методики показало, что основными показателями качества ВКА являются холодопроизводительность и потребляемая мощность. Показатели, встречающиеся в двух вариантах, представляют интерес для различных групп потребителей. Покупатель выбирает из этой группы показателей те, что соответствуют его цели и при данных условиях рынка являются дополнительной информацией при выборе продукции. Их можно назвать так же, как и два первых, показателями, определяющими уровень конкурентоспособности.

Третья группа показателей (присутствуют только в одном варианте) не влияет на уровень конкурентоспособности продукции и отражает скорее индивидуальные запросы некоторых потребителей, а не запросы рынка как такового.

В зависимости от условий сбыта продукции (когда наблюдается дефицит или избыток товара на рынке) номенклатура показателей конкурентоспособности будет меняться.

Л и т е р а т у р а

1. Котова С.В. Механизм реализации системы управления конкурентоспособностью предприятия и производимой продукции / С.В. Котова // Аллея науки. – 2017. – № 5. – С. 146-149.
2. Никитин В.А. Управление качеством на базе стандартов ИСО 9000. – СПб.: Питер, 2009. – 312 с.

3. Свиткин М.З. Международные стандарты ИСО серии 9000, методика и практика применения / М.З. Свиткин, В.Д. Мацуца, К.М. Рахлин. – М.: Изд-во НИИТЭХИМ, 2002. – 378 с.

4. Фатхутдинов Р.А. Конкурентоспособность: экономика, стратегия, управление. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 264 с.

5. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции / А. Фейгенбаум. – М.: Экономика, 2004. – 198 с.

**Kostrub O.M., Sobko V.A., Ivanova E.I.,
Tasang E.H., Kluev A.S.**

SELECTION AND DEFINITION OF THE NOMENCLATURE OF QUALITY INDICATORS THAT ENSURE THE COMPETITIVENESS OF PRODUCTS

The article considers the methodology for selecting the nomenclature of the main quality indicators that ensure the competitiveness of products. To highlight the nomenclature of quality indicators, a method of integral assessment of product quality synthesized with the method of statistical processing of a priori information (a priori ranking) is proposed.

Key words: product quality, quality indicators, nomenclature of indicators, competitiveness, international standards.

Коструб Ольга Михайловна, старший преподаватель кафедры железнодорожного транспорта, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: okostrub82@bk.ru

Kostrub Olga, senior lecturer of the «Railway transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Собко Вадим Алексеевич, старший преподаватель кафедры железнодорожного транспорта, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: va.sobko@gmail.com

Sobko Vadim, senior lecturer of the «Railway transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Иванова Елена Ивановна, старший преподаватель кафедры железнодорожного транспорта, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: eleandra1@mail.ru

Ivanova Elena, senior lecturer of the «Railway transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Тасанг Эрик Хельмутович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: tasang240555@mail.ru

Tasang Erik, senior lecturer of the «Railway transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Клюев Александр Семенович, старший преподаватель кафедры железнодорожного транспорта, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: aklyev1954@gmail.com

Kluev Aleksandr, senior lecturer of the «Railway transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Статья подана 15.04.2023

УДК 621.314

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЗА ПРИ ПЛАВНОМ ТИРИСТОРНО-ИМПУЛЬСНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Куценко В. В., Потеряхин М. В., Внучков В. В.,
Гречишкин В. А., Головчанский А. И.

CHARACTERISTICS OF THE LOCOMOTIVE AT SMOOTH THYRISTOR AND PULSE REGULATION OF EXCITEMENT OF TRACTION ELECTRIC MOTORS

Kutsenko V. V., Poteryahin M. V., Vnuchkov V. V.,
Grechishkin V. A., Golovchansky A. I.

Изложена методика расчёта регулировочных характеристик тягового электродвигателя и тягово-энергетических характеристик тепловоза при применении тиристорно-импульсного плавного регулирования возбуждения электродвигателей.

Ключевые слова: тепловоз, тяговый электродвигатель, плавное возбуждение, тиристорный регулятор, степень ослабления, регулировочные характеристики.

В связи с появлением мощных силовых полностью управляемых тиристорных ГТО и биполярных транзисторов IGBT с изолированным затвором с улучшенными энергетическими и массогабаритными показателями, не требующих узлов искусственной коммутации [3] для их запитывания, проблема создания системы плавного возбуждения ТЭД последовательного возбуждения значительно упростилась [1, 2, 4].

На всех современных отечественных тепловозах применяется в основном ступенчатое ослабление возбуждения тяговых электродвигателей (ТЭД), которое имеет ряд недостатков. Практически всегда имеет место различие в величине шунтирующих сопротивлений, которое усугубляется неодинаковым переходным сопротивлением включающих контакторов. Кроме того, сами величины ступеней сопротивлений соизмеримы с сопротивлениями соединительных кабелей, которые для различных двигателей имеют разную длину. Это приводит к ухудшению распределения тяговых нагрузок между электродвигателями.

При ступенчатом ослаблении происходит резкое изменение тока якоря, ухудшаются коммутационные условия на коллекторе ТЭД, возникают предпосылки для возникновения

кругового огня и переброса дуги по коллектору [1, 4].

Эти недостатки ступенчатого ослабления поля электродвигателей при их последовательном возбуждении могут быть устранены путем применения плавного импульсного регулирования возбуждения с помощью тиристорных преобразователей (ТИРВ), которые изменяют длительность включённого состояния резистора, шунтирующего обмотку последовательного возбуждения, за период регулирования.

Основное назначение импульсных регуляторов состоит в плавном уменьшении поля возбуждения ТЭД с целью повышения скорости движения локомотива.

Плавное преимущество тиристорно-импульсного управления заключается в поддержании практически постоянного по величине и минимального тока якоря ТЭД с минимальными пульсациями в процессе регулирования, что обеспечивает лучший процесс коммутации и работу электродвигателя в экономичном режиме с меньшими потерями, позволяет повысить надёжность и долговечность работы тягового электродвигателя и всей электропередачи мощности тепловоза в целом.

Регулирование тока возбуждения ТЭД осуществляется широтно-импульсным способом (ШИР) путём шунтирования его обмотки возбуждения резистором с помощью полностью запираемого тиристора. Рабочая частота переключений составляет 400 Гц.

В данной статье предполагается рассчитать регулировочные характеристики тягового электродвигателя ЭД-133 мощностью 296 кВт, а также тягово-энергетические характеристики секции тепловоза 2ТЭ116 мощностью 2250 кВт при

плавном возбуждении ТЭД. Схема регулятора возбуждения приведена в [1].

Расчёт производится по имеющимся нагрузочным характеристикам ТЭД. Вначале производится расчёт тягово-энергетических характеристик тепловоза при полном магнитном поле при $\alpha_{nn} = 1,0$.

При разгоне тепловоза при полном магнитном поле ТЭД его ток и ток генератора уменьшаются, и при подходе к предельной точке по максимальному напряжению внешней характеристики генератора начинается осуществляться плавное ослабление магнитного поля ТЭД. Принимаем минимальное значение тока якоря ТЭД $I_{мин} = 500$ А, при котором в дальнейшем будет осуществляться плавное ослабление возбуждения с целью разгона тепловоза вплоть до его конструкционной скорости движения.

Кроме того, из расчёта электромеханических характеристик ТЭД при полном поле $\alpha = 1$ и минимальном значении тока якоря $I_{мин} = I_n$ берутся многие параметры, необходимые для дальнейших расчётов. Все они в дальнейших расчетах обозначены с индексом «0», а рассчитываемые параметры при плавном возбуждении при различных степенях ослабления α - с индексом «п».

Первоначально вычисляется напряжение на электродвигателе U_n при заданной потребляемой мощности ТЭД $P_{1п}$, которое остаётся постоянным при всём импульсном плавном регулировании.

Расчёт регулировочных характеристик ТЭД при плавном ослаблении магнитного поля производится при произвольно заданных степенях ослабления магнитного поля от $\alpha_{мин} = 0,36$ до максимально принятого поля при $\alpha_{макс} = 0,98$ [1, 2].

В дальнейшем расчёт производится в следующем порядке:

1. Зная ток якоря ТЭД I_n и принятые степени ослабления α_n , определяют ток возбуждения $I_{в.п}$ и магнитодвижущую силу $F_{в.п}$, а по графикам нагрузочных характеристик ТЭД - величину произведения $(c_e \Phi)_n = (E/n)_n$ при принятом постоянном токе якоря $I_{мин} = 500$ А.

2. Определив суммарное сопротивление якорной цепи $R_{с.г.п}$ прогретого ТЭД, определяют противо-ЭДС электродвигателя E_n и рассчитывают скоростную характеристику ТЭД $n_n = f(\alpha_n)$ в зависимости от степени ослабления α_n по выражению

$$n_n = \frac{E_n}{(E/n)_n} = \frac{U_n - (I_n R_{с.г.п} + \Delta U_{ш})}{(E/n)_n}. \quad (1)$$

Зная частоту вращения якоря ТЭД n_n , легко рассчитать и скорость движения тепловоза v_n

3. Далее по общеизвестным формулам [1] определяем все составляющие и суммарные потери в ТЭД через известные потери при полном магнитном поле:

$$\Sigma \Delta P_n = [\Sigma \Delta P_0 - \Delta P_{эл.0} - \Delta P_{щ.0} - \Delta P_{мех.0}] \left[\frac{(E/n)_n}{(E/n)_0} \right]^2 \left(\frac{n_n}{n_0} \right)^{1.5} + (2) \\ + \Delta P_{эл.п} + \Delta P_{щ.п} + \Delta P_{мех.п},$$

где $\Sigma \Delta P_0$, $\Delta P_{эл.0}$, $\Delta P_{щ.0}$, $\Delta P_{мех.0}$, $\Delta P_{эл.п}$, $\Delta P_{щ.п}$, $\Delta P_{мех.п}$ - потери в ТЭД: полные, электрические, в щётках, механические при полном и ослабленном магнитном потоке.

4. Далее определяем КПД $\eta_{тэд.п}$, мощность $P_{2п}$, кВт и момент на валу $M_{2п}$, кН·м, электродвигателя.

$$\eta_{тэд.п} = 1 - \frac{\Sigma \Delta P_n}{P_{1п}}, \quad M_{2п} = \frac{9,55 P_{2п}}{n_n}, \quad (3)$$

где $P_{1п} = I_{мин} U_n = 500 \cdot 646 \cdot 10^{-3} = 323$ кВт - постоянная потребляемая мощность ТЭД при плавном возбуждении.

В сводной табл. 1 приведены основные расчётные данные характеристик ТЭД ЭД-133, а на рис. 1 - регулировочные характеристики ТЭД ЭД-133 тепловоза 2ТЭ116 мощностью 2250 кВт при плавном регулировании его магнитного потока возбуждения.

Как видно из приведенных характеристик и табл. 1, КПД ТЭД $\eta_{тэд.п}$ с изменением степени возбуждения α практически постоянный и составляет 0,955...0,957. При уменьшении степени возбуждения магнитного поля α ток возбуждения $I_{в.п}$ пропорционально падает, момент ТЭД уменьшается примерно обратно пропорционально изменению частоты вращения якоря ТЭД n_n , которая при этом возрастает. Мощность на валу ТЭД $P_{2п}$ остается постоянной или незначительно возрастает из-за незначительного увеличения КПД ТЭД.

Максимальные обороты двигателя $n_{п.макс} = 2314$ об/мин достигаются при минимальной степени ослабления $\alpha_{мин} = 0,4$, принятой на тепловозе и обеспечивающей заданную конструкционную скорость движения $v_k = 100$ км/ч.

Применение максимальной степени возбуждения ТЭД $\alpha_{макс} = 0,98$ (вместо $\alpha_{макс} = 1$) практически не влияет на развиваемый момент и КПД электродвигателя.

Из рис. 2 видно, что применение плавного регулирования возбуждения ТЭД по сравнению со ступенчатым регулированием позволяет получить больший (максимум до 3%) и практически постоянный его КПД при изменении скорости движения v тепловоза в зоне их средних и больших значений.

Имея регулировочные характеристики электродвигателя при плавном ослаблении магнитного потока (рис. 1), можно, используя общеизвестные формулы, рассчитать касательную силу тяги $F_{к.п}$, скорость движения v_n , касательную мощность $P_{к.п}$ и КПД $\eta_{т.п}$ одной секции тепловоза (табл. 1), а затем построить его тягово-энергетические характеристики.

Таблица 1

Сводная таблица по расчёту тягово-энергетических характеристик тепловоза 2ТЭ116 с ТЭД ЭД-133 с плавным возбуждением: $P_e = 2250$ кВт; $P_{всп} = 207,8$ кВт; $P_d = 2042$ кВт; $\mu_3 = 4,41$; $I_{дл} = 750$ А; $g_e = 0,204$ кг/(кВт·ч)

Параметры	Ослабленное плавное поле, $\alpha_1 = 0,36 \dots 0,98$							
	0,36	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,98
$I_{ТЭД} = I_{п}, A$	500							
$I_{д.п}, A$	3000							
$I_{в.п}, A$	180	200	250	300	350	400	450	490
$\eta_{ст}, о.е.$	0,956							
$R_{с.п}, Ом$	0,02	0,021	0,021	0,022	0,023	0,023	0,024	0,025
$R_{с.г.п}, Ом$	0,029	0,03	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,035
$U_{ТЭД.п}, В$	646,2							
$E_{ТЭД.п}, В$	629,5	629,3	628,8	628,3	627,9	627,4	626,9	626,5
$n_{ТЭД.п}, об/мин$	2623	2314	1823	1496	1308	1173	1081	1027
$v_{п}, км/ч$	117,7	103,8	81,8	67,14	58,71	52,63	48,51	46,09
$\Sigma \Delta P_{п}, кВт$	14,52	14,32	14,09	14,02	14,03	14,06	14,11	14,14
$\eta_{ТЭД.п}, о.е.$	0,955	0,956	0,956	0,957	0,957	0,956	0,956	0,956
$P_{2п}, кВт$	308,6	308,79	309,02	309,09	309,08	309,05	309,01	308,97
$M_{ТЭД}, кН·м$	1,124	1,275	1,619	1,973	2,257	2,517	2,73	2,873
$F_{к}, кН$	55,2	62,6	79,6	97,0	110,9	123,7	134,2	141,2
$P_{к}, кВт$	1805	1807	1808	1808	1808	1808	1808	1808
$\eta_{тз}, о.е.$	0,332	0,332	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333

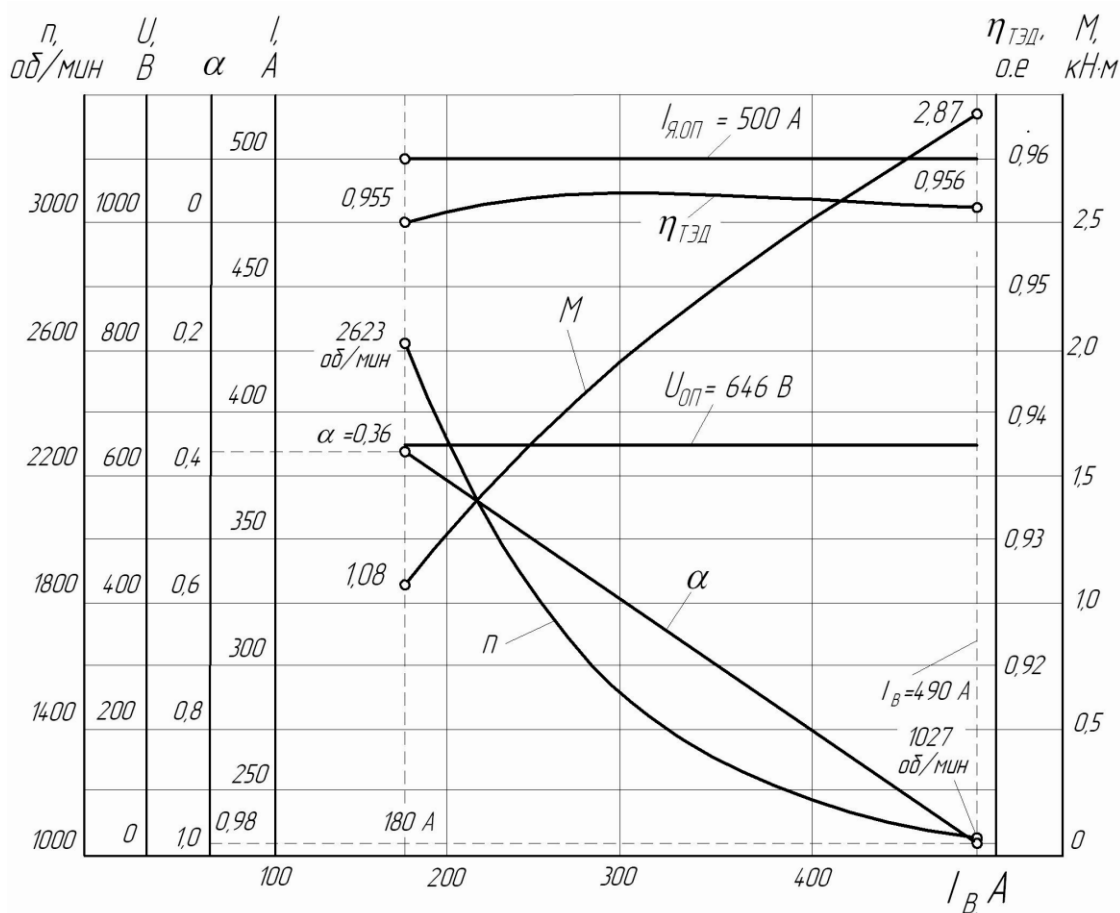


Рис. 1. Регулировочные характеристики ТЭД ЭД-133 тепловоза 2ТЭ116 ($I_{мин} = 500$ А)

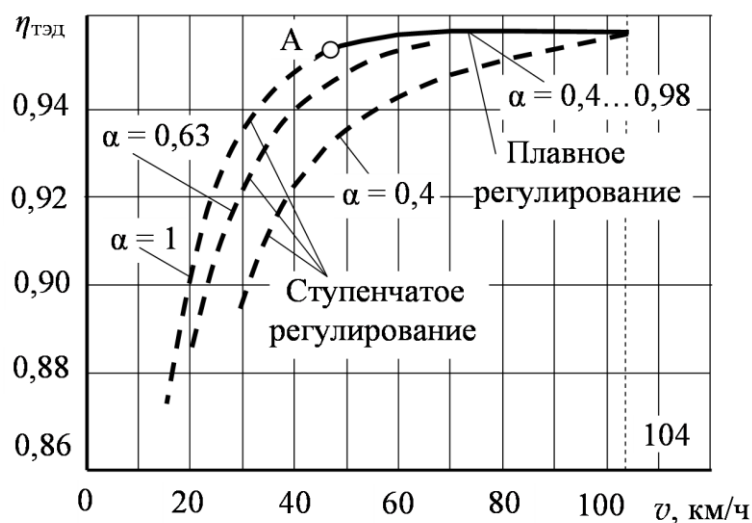


Рис. 2. Изменение КПД ТЭД ЭД-133 при плавном и ступенчатом регулировании возбуждения: А – точка перехода со ступенчатого на плавное регулирование

Сила тяги тепловоза $F_{к.п}$, кН определяется:

$$F_{к.п} = 2 M_{2п} m \mu_3 \eta_3 / D_k, \quad (4)$$

где $m = 6$ – количество ТЭД; $\mu_3 = 4,41$ и $\eta_3 = 0,975$ – передаточное отношение и КПД тягового редуктора; $D_k = 1,05$ м – диаметр колеса по кругу катания.

Касательная мощность тепловоза $P_{к.п}$, кВт,

$$P_{к.п} = F_{к.п} v_{п} / 3,6. \quad (5)$$

КПД тепловоза

$$\eta_T = 3600 P_{к.п} / (B_{ч} H_u), \quad (6)$$

где $B_{ч} = 459$ кг/ч – часовой расход тепловозом дизельного топлива; $H_u = 42636$ кДж/кг – удельная теплота сгорания топлива.

На рис. 3 приведены тягово-энергетические характеристики одной секции тепловоза 2ТЭ116 мощностью 2250 кВт.

При плавном ослаблении магнитного поля ТЭД КПД тепловоза $\eta_{т.п}$, как и его касательная мощность $P_{к.п}$, практически не изменяется и составляет 0,333 во всем диапазоне изменения степени возбуждения α ТЭД от 0,4 до 0,98.

Здесь же на рис. 3 для сравнения приведены кривые изменения КПД тепловоза (штриховой линией) при обычной двухступенчатой схеме возбуждения ТЭД.

Максимальное увеличение КПД тепловоза при плавном регулировании возбуждения ТЭД по сравнению со ступенчатым может достигать до 2-3%.

Сила тяги тепловоза при плавном и ступенчатом регулировании возбуждения ТЭД практически не изменяется.

На тяговой характеристике точками 1 и 2 обозначены переходы работы ТЭД с полного поля возбуждения на плавное ослабленное, и наоборот.

Ориентировочно это происходит при скорости 46 и 35 км/ч и определяется соответствующей

настройкой реле перехода или дифференциального реле электрооборудования тепловоза.

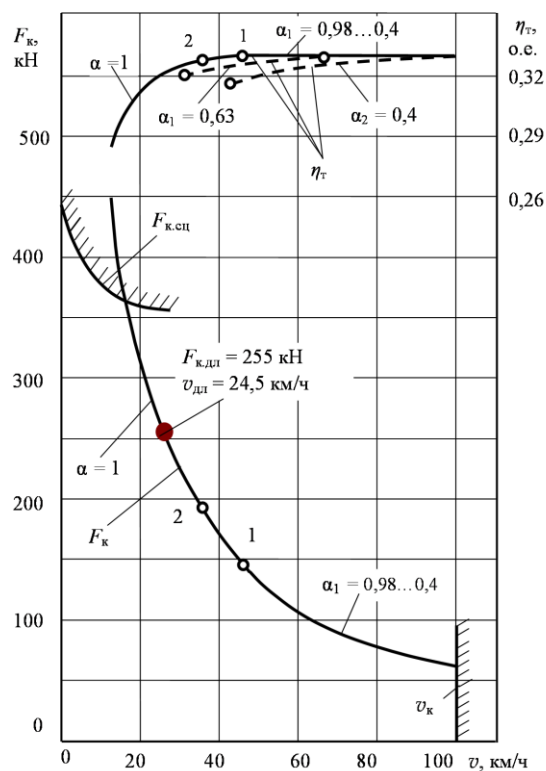


Рис. 3. Тягово-энергетические характеристики одной секции тепловоза 2ТЭ116 мощностью $P_e = 2250$ кВт при плавном возбуждении ТЭД

Таким образом, система плавного ослабления магнитного поля ТЭД посредством шунтировки обмотки возбуждения ТЭД тиристорным регулятором принципиально выполнима, работоспособна и имеет, несомненно, ряд технических и энергетических преимуществ перед ступенчатым ослаблением магнитного поля.

Л и т е р а т у р а

18. Голубенко А.Л. Расчёт тягово-энергетических характеристик тепловозов / А.Л. Голубенко, В.М. Новиков, Г.Г. Басов, В.А. Тулуп, Э.Х. Тасанг. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2011. – 423 с.

19. Корягина Е.Е. Электрооборудование трамваев и троллейбусов / Е.Е. Корягина, О.А. Оськин. – М.: Транспорт, 1982. – 296 с.

20. Руденко В.С. Основы преобразовательной техники / В.С. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко. – М.: Высш. шк., 1980. – 424 с.

21. Стрекопытов В.В. Электрические передачи локомотивов / В.В. Стрекопытов, А.В. Грищенко, В.А. Кручек. – М.: Знание, 2003. – 310 с.

Kutsenko V.V., Poteryahin M.V., Vnuchkov V.V., Grechishkin V.A., Golovchansky A.I.

CHARACTERISTICS OF THE LOCOMOTIVE AT SMOOTH THYRISTOR AND PULSE REGULATION OF EXCITEMENT OF TRACTION ELECTRIC MOTORS

The stated methods calculation regulation of the features of the tractive electric motor and tractive-energy features of the diesel locomotive when using thyristor-pulsed fluent regulation of excitement of the electric motors.

Key words: diesel locomotive, draw the electric motor, smooth excitation, thiristors the regulator, degree of easing, regulation of the features.

Куценко Вадим Викторович, магистр группы ТЛЗ-1а11м, кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Kutsenko Vadim, Master of the TL-1a11m group, Department of Railway Transport of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Потеряхин Максим Витальевич, магистр группы ТЛЗ-1а11м, кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Poteryahin Maxim, Master of the TLz-1a11m group, Department of Railway Transport of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Внучков Владислав Вячеславович, магистр группы ТЛЗ-1а11м, кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Vnuchkov Vladislav, Master of the TL-1a11m group, Department of Railway Transport, of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Гречишкин Владислав Александрович, магистр группы ТЛЗ-1а11м, кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Grechishkin Vladislav, Master of the TLz-1a11m group, Department of Railway Transport of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Головчанский Андрей Игоревич, магистр группы ТЛЗ-1а11м, кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Golovchansky Andrey, Master of the TLz-1a11m group, Department of Railway Transport of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Технология машиностроения и инженерный консалтинг», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 18.05.2023

УДК 621.179

СХЕМА СОГЛАСОВАНИЯ ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТОВ СТенок ЦИЛИНДРОВ НА ТРАНСПОРТЕ

Ливцов Ю. В., Киреев А. Н., Безкоровайный В. С.

THE SCHEME OF COORDINATION OF THE CYLINDER WALL DEFECT MONITORING SENSOR IN TRANSPORT

Livtsov Yu. V., Kireev A. N., Bezkorovainiy V. S.

Статья посвящена разработке нового эффективного неразрушающего комбинированного метода контроля ферромагнитных деталей цилиндрической формы. Описана схема согласования датчика контроля наличия скрытых внутренних дефектов цилиндрических деталей и определение толщины слоя по остаточной индукции с контроллером. Рассмотрена схема обработки сигналов феррозонда. Приведены уравнения по расчету полученных значений индукции.

Ключевые слова: магнитная система, датчик, обмотка, ферромагнит, намагниченность.

Введение. Чугун – это один из широко применяемых литейных материалов. Если рассматривать чугун как структурный материал, то он представляет собой металлическую полость с графитными включениями. Структура чугуна – это в основном перлит, ледебурит и пластичный графит. При этом у каждого вида чугуна эти элементы преобладают в разных пропорциях или отсутствуют совсем. Разнообразие структур чугуна и условий их формирования определяет разнообразие задач и физических методов неразрушающего контроля структуры чугунных отливок.

Нарушения процессов производства недопустимо изменяют структуру и свойства отливок. Измерение механических свойств и структуры трудоемко, непроизводительно, требует разрушения отливки для подготовки микрошлифов или стандартных образцов и исключает ее эксплуатацию.

Анализ последних исследований и публикаций. На производстве для контроля качества изделий наибольшее распространение получили методы, основанные на косвенном определении коэрцитивной силы.

Методы магнитного контроля структурного состояния изделий из конструкционных ферромагнитных материалов по току размагничивания приставных магнитных устройств

широко распространены и хорошо освещены в работах М.Н. Михеева, Э.С. Горкунова, В.М. Сомовой, А.П. Ничипурука. Их недостатком, кроме сильной зависимости результатов измерения от качества магнитного контакта преобразователя с контролируемой поверхностью, является низкая производительность.

Методы контроля изделий из конструкционных ферромагнитных материалов по полю от остаточной намагниченности после намагничивания изделий по методу «точечного полюса» и остаточному магнитному потоку в изделии используют особенности формирования остаточной намагниченности изделий при намагничивании в разомкнутой магнитной цепи.

Несмотря на достаточно широкую проработку в литературе указанной темы, остается ряд нерешенных задач, зачастую связанных с невозможностью применения упомянутых методов в конкретных технологических процессах.

Цель исследования. Исследование проводилось с целью снижения затрат на механическую обработку цилиндрических деталей путем разработки датчика и устройства контроля, посредством которого производится измерение толщины детали и наличие скрытых дефектов. По истечении длительного срока эксплуатации либо в результате какого-либо механического повреждения рабочей поверхности цилиндра двигателя внутреннего сгорания он подвергается механической обработке – расточке. Для определения остатка толщины стенок цилиндра и контроля наличия внутренних дефектов предлагается данное устройство контроля, которое основано на применении двух методов – магнитного и электромагнитного.

Материалы и результаты исследования. Блок-схема устройства контроля приведена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема устройства контроля

Выходные сигналы с феррозондов от датчика контроля подаются на три усилителя высшей гармоники. После усиления сигналы феррозондов попадают на синхронный детектор. В качестве опорного напряжения используется напряжение удвоенной частоты генератора 40 кГц. С синхронных детекторов напряжение подается на усилитель постоянного тока, с выхода которого напряжение по трем каналам поступает на блок АЦП. В этом блоке аналоговые сигналы преобразуются в цифровые и обрабатываются компьютером.

Источник тока обеспечивает в обмотке ток 10 А. В контейнере размещены феррозонды. Феррозонд имеет следующие параметры: $2b = 12$ мм, $2a = 2$ мм, $2c = 0,05$ мм, $m = 260$. Параметры обмотки: $2b_k = 8$ мм, $2a_k = 6$ мм, $2c_k = 5$ мм сердечники выполняют из аморфного сплава железа. Количество витков обмотки возбуждения $W_1 = 200$; выходной обмотки $W_2 = 140$.

На обмотки возбуждения феррозондов подается ток частотой 20 кГц. Напряжение такой же частоты подается на удвоитель частоты.

Магнитометрические каналы феррозондов охвачены отрицательной обратной связью, что обеспечивают линейность статической характеристики измерительного устройства в диапазоне $10-10^3$ А/м. Порог чувствительности феррозондового магнитометра 1,5 А/м, коэффициент преобразования $k = 0,81$ Вм/А [2].

Аналого-цифровой преобразователь последовательного приближения (SAR, Successive Approximation Register) измеряет величину входного сигнала, осуществляя ряд последовательных «взвешиваний», то есть сравнений величины входного напряжения с рядом величин, генерируемых следующим образом:

1. На первом шаге на выходе встроенного цифро-аналогового преобразователя устанавливается величина, равная $1/2U_{ref}$ (здесь и далее мы предполагаем, что сигнал находится в интервале $(0 - U_{ref})$).

2. Если сигнал больше этой величины, то он сравнивается с напряжением, лежащим посередине

оставшегося интервала, т.е. в данном случае $3/4U_{ref}$. Если сигнал меньше установленного уровня, то следующее сравнение будет производиться с меньшей половиной оставшегося интервала (т.е. с уровнем $1/4U_{ref}$).

3. Шаг 2 повторяется N раз. Таким образом, N сравнений («взвешиваний») порождает N бит результата.

Таким образом, АЦП последовательного приближения состоит из следующих узлов:

1. Компаратор. Он сравнивает входную величину и текущее значение «веса» напряжения (на рис. 2 обозначен треугольником).

2. Цифро-аналоговый преобразователь (Digital to Analog Converter, DAC). Он генерирует «весовое» значение напряжения на основе поступающего на вход цифрового кода.

3. Регистр последовательного приближения (Successive Approximation Register, SAR). Он осуществляет алгоритм последовательного приближения, генерируя текущее значение кода, подающегося на вход ЦАП. По его названию названа вся данная архитектура АЦП.

4. Схема выборки-хранения (Sample/Hold, S/H). Для работы данного АЦП принципиально важно, чтобы входное напряжение сохраняло неизменную величину в течение всего цикла преобразования. Однако «реальные» сигналы имеют свойство изменяться во времени. Схема выборки-хранения «запоминает» текущее значение аналогового сигнала и сохраняет его неизменным на протяжении всего цикла работы устройства.

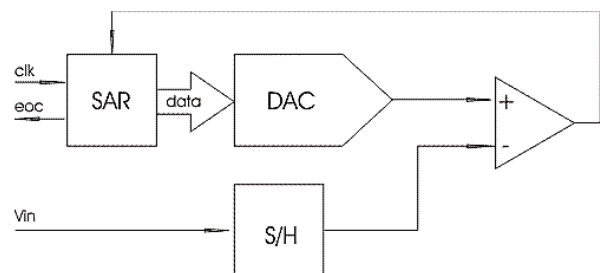


Рис. 2. Структурная схема АЦП последовательного приближения

В ЭВМ производится решение системы алгебраических уравнений, в результате чего определяются Δz величины толщины слоя и твердость H_μ . Коэффициент связывающий значение коэрцитивной силы и твердость.

$$k_\mu = \frac{H_{cs}}{H_\mu} = 1,85 \frac{A \cdot мм^2}{М \cdot кгс} = 1,85 \cdot 10^{-7} \frac{A / М}{Па}. \quad (1)$$

В результате расчетов определяются аппроксимирующие полиномы второго порядка при кодированных значениях факторов для составляющих вектора напряженности остаточного поля (поля рассеяния).

$$\begin{aligned} H_m(x_1, x_2, x_3) = & 72,5 + 64x_1 + 21,6x_2 - 8,5x_3 + \\ & 41,4x_1 \cdot x_2 - 22,4x_1 \cdot x_3 - 5,3x_2 \cdot x_3 + 15,2x_1^2 - \\ & - 14,3x_2^2 - 3,9x_3^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Переход к аналитическим моделям в виде квадратичных функций $H_m(\Delta z, H_{cs}, M_s)$ и $H_z(\Delta z, H_{cs}, M_s)$ осуществляются путем преобразования кодированных значений факторов x_1, x_2, x_3 в натуральные значения магнитных параметров материала. Выходные сигналы феррозондов через аналоговый мультиплексор и АЦП подаются на вход контроллера [3]. При задании режима обработки в алгоритм работы станка вносится переменная – коэффициент поправки от замкнутой системы обратной связи. На плате развязки выделяется дополнительный канал для электромагнита и датчиков.

Выводы. В результате исследований была предложена схема обработки сигнала датчика контроля дефектов и толщины слоя металла. По результатам проведенных измерений делается вывод о целесообразности поведения механической обработки цилиндра.

Л и т е р а т у р а

1. Ливцов Ю.В., Яковенко В.В., Додонов В.И. Датчик контроля дефектов толщины стенок цилиндров / Ю.В. Ливцов, В.В. Яковенко, В.И. Додонов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2022. – № 12. – С. 206-209.
2. Сандомирский С.Г., ОИМ НАН Беларуси Возможности и ограничения магнитного контроля структуры чугуновых отливок / С.Г. Сандомирский // Литье и металургия. – 2006. – № 2 (38). – С. 118-123.
3. Ливцов Ю.В. Определение толщины упрочненного слоя металла магнитным методом / В.С. Безкоровайный, В.В. Яковенко // Журнал «Известия

высших учебных заведений России. Радиоэлектроника». – 2018. – № 6. – С. 102-110.

Livtsov Yu.V., Kireev A.N., Bezkorovainiy V.S.

THE SCHEME OF COORDINATION OF THE CYLINDER WALL DEFECT MONITORING SENSOR IN TRANSPORT

The article is devoted to the actual topic of developing a new effective non-destructive method for testing ferromagnetic cylindrical parts. A sensor is described for monitoring the presence of hidden internal defects of cylindrical parts, as well as determining the layer thickness by residual induction, in order to save time on surface machining. The scheme of signal processing of ferroprobe is considered. Equations are given for calculating the obtained values of induction.

Key words: ferrosonde, coercive force, electromagnet, ferromagnetic material, magnetic field.

Ливцов Юрий Владимирович, канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: Liwtsoff@yandex.com

Livtsov Yuri, cand. of tech. sciences, associate professor «Railway transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Киреев Андрей Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: lifter_23@mail.ru

Kireev Andrey, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Railway transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Безкоровайный Владимир Сергеевич, канд. техн. наук., доцент кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Bezkorovainiy Vladimir, Cand. Sci. (Eng.), Docent of the «Railway transport» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Статья подана 15.05.2023

УДК 656

МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОЙ ЦИФРОВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ГОРОДСКОМ ПАССАЖИРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Лучко М. И., Будиков Л. Я, Захарчук А. С.

MODEL OF BUILDING A UNIFIED DIGITAL TRANSPORT SYSTEM ON URBAN PASSENGER TRANSPORT

Luchko M. I., Budikov L. Ya, Zakharchuk A. S.

Предложено построение единой цифровой транспортной системы на городском пассажирском транспорте общего пользования, которая будет объединять все подсистемы планирования, организации и мониторинга работы подвижного состава пассажирского транспорта, водителей, пассажиропотоков в единой системе взаимодействия. Решение данной задачи актуально и необходимо для повышения уровня удовлетворения потребностей населения в высококачественных и безопасных перевозках общественным транспортом городской пассажирской сети.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт общего пользования (ГПТ ОП), единая цифровая транспортная система, маршрутная сеть общественного транспорта, пассажиропоток, система городских пассажирских перевозок общественного транспорта (СГПП ОТ), улично-дорожная сеть (УДС).

Введение. На сегодняшний день успешное решение вопросов эффективной организации перевозок пассажиров и рационального использования подвижного состава пассажирского транспорта невозможно без систематического изучения характера изменений пассажиропотоков маршрутной сети и многих других данных, включая способ сбора данных посредством учета оплаты проезда. Изучение данной информации позволяет выявить распределение пассажиров по времени, длине маршрутов и направлениям движения.

Создать единое транспортное пространство, сделать перевозки безопаснее, улучшить доступность транспорта для пассажиров – главные задачи транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года [1]. По прогнозам новой транспортной стратегии, принятой правительством, к 2035 году пассажиропоток общественного транспорта должен вырасти на 15 % по сравнению к 2019 году.

Постоянный рост количества транспортных средств, увеличение грузовых и пассажирских перевозок приводят к увеличению нагрузки на

транспортную инфраструктуру и городские сети РФ. Реализация задачи обеспечения растущих транспортных потребностей государства возможна за счет двух взаимно дополняемых направлений хозяйственной деятельности – строительство новых и реконструкция существующих участков транспортной инфраструктуры и внедрение технологий организационного управления транспортной системой с использованием современных информационно-телекоммуникационных, геоинформационных и телематических систем и технологий [2].

При этом в государстве сейчас нет до сих пор регионов с максимально развитой транспортной инфраструктурой, а низкое качество пассажирских перевозок входит в круг актуальных вопросов, волнующих население. Для достижения поставленных задач необходимо внедрение комплексных систем управления общественным транспортом и пассажирской мобильностью [3].

Анализ последних исследований и публикаций. Интерес к цифровизации транспортной отрасли со стороны регионов был низок, в особенности к комплексным и системным решениям. Создавались отдельные разобщённые цифровые сервисы, среди которых, к примеру: построение маршрута, платёжные решения, табло и знаки переменной информации, диспетчеризация и мониторинг движения, детекторы транспортного и пассажирского потоков, транспортная аналитика, видеонаблюдения за дорожной обстановкой и фото-видеофиксация нарушений ПДД.

В последнее время широкое применение имеют технологии информационного моделирования (ТИМ). Не исключением стала и сфера дорожного хозяйства, включающая проектирование объектов дорожно-транспортного строительства. Данная технология включает модули по управлению строительными ресурсами, техникой, персоналом, сметами и процессами, которая в целом уже используется в ряде крупных дорожно-

строительных организаций [4]. Ключевой задачей информационной модели объекта, созданной по данной технологии, является диагностика и мониторинг объекта, оперативной обстановки. Поставщиками данных, которые должны передаваться в информационную модель, являются подсистемы интеллектуальных транспортных систем.

Информационно-навигационные решения на основе автоматизированной информационной системы (АИС) «ЭРА-ГЛОНАСС» [5] помогают создавать и развивать интеллектуальные транспортные системы. Данная АИС обеспечивает подключение к системе всего пассажирского транспорта и передает телематические данные о движении в Ространснадзор. Сейчас это способствует повышению эффективности управления движением и уровня безопасности перевозок пассажиров, в том числе исключить присутствие на рынке нелегальных перевозчиков.

Необходимо отметить, интеллектуальные транспортные системы возникли несколько лет назад. Ранее, в 2012-2013 годах в Российской Федерации фактически было решение по созданию и развитию региональные навигационно-информационных систем или региональных навигационно-информационных центров, которые строились в соответствии с постановлением Правительства РФ от 21.12.2012 г. № 1367. Их главная проблема – разрозненность компонентов и подсистем. Отдельные решения действовали на базе региона, города, муниципалитетов, транспортных предприятий, которые абсолютно не были связаны между собой. Опыт создания единой государственной автоматизированной информационной системы «ЭРА-ГЛОНАСС» показал правильность и эффективность единого комплексного решения.

В 2021 году была принята Стратегия цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации, в состав которой входит проект «Зеленый цифровой коридор пассажира» [6]. В рамках проекта предполагается разработка и внедрение МaaS-сервиса (Mobility as a Service – мобильность как услуга) построения оптимального маршрута поездки и применения единого цифрового инструмента оплаты проезда для разных видов транспорта с учетом времени перевозки и ее стоимости. Следует отметить, что сегодня ведущая цель государства – объединить разрозненные системы, внедрив принципы интероперабельности и интеграционного взаимодействия.

Постановка проблемы. Существует множество других отдельных компонентов в интеллектуальных транспортных системах и системе городских пассажирских перевозок общественного транспорта. Это порождает разрозненность информационных систем.

Развитие современных информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и их

применение в городском транспортном планировании и системах управления уличным движением требуют в большинстве случаев динамических оценок данных. В работе профессора Зырянова В.В. [7] отмечено, что приоритет при моделировании ИКТ на транспорте отдается интегрированным программным платформам, позволяющим моделировать на микро- и макроуровнях, с возможностью моделирования в реальном режиме времени в системах управления движением.

Внедрение цифровых технологий в сферу пассажирских перевозок в условиях доступности и прозрачности данных дает ряд положительных аспектов для всех участников процесса [8]. Для потребителей услуг существенно упрощается процесс выбора и заказа транспортной услуги, для государственных органов снижаются риски ошибок регулирования, и повышается контроль деятельности субъектов, для операторов транспортных услуг – в конечном итоге снижаются издержки и риски чрезвычайных ситуаций.

Необходимо отметить, что одной из приоритетных задач для высвобождения транспортной инфраструктуры городов и в целом городского пространства, а также оптимизации пассажиропотоков является пересадка пассажиров с личного транспорта на общественный. Для этого необходимо систематически повышать уровень обслуживания пассажиров.

Прогнозируемый выше рост подвижности населения возможен при условии создания более комфортной, качественной и безопасной транспортной системы, где общественный транспорт сможет составить конкуренцию личному. Ключевым фактором достижения этих целей является масштабное внедрение цифровых инструментов, делающих городской транспорт более удобным, гибким, прогнозируемым и ориентированным на потребности пассажира. Обеспечить такое развитие может единая цифровая система управления мобильностью – комплексная цифровая платформа пассажирского транспорта, которая представляет сервисы не только пассажирам, но и перевозчикам и городским властям.

Цель исследований - построение единой цифровой транспортной системы на городском пассажирском транспорте общего пользования, которая будет объединять все подсистемы организации работы, планирования и мониторинга транспорта, водителей, пассажиропотоков в единой взаимодействующей системе.

Изложение основного материала. Для создания единой цифровой транспортной системы необходимо создание модели, объединяющей различные аспекты городского пассажирского транспорта общего пользования. Основные этапы разработки модели включают:

- создание базы данных улично-дорожной сети (УДС);
- создание базы данных характеристик транспортных потоков;
- создание и оценка матриц корреспонденций на УДС;
- создание базы данных по стратегиям управления транспортным и потоками;
- создание базы данных расписания движения;
- калибровка модели для оценки достоверности результатов моделирования;
- моделирование сценариев развития УДС и транспортной инфраструктуры города.

Моделирующие алгоритмы интегрируются в следующие подсистемы:

- подсистема сбора транспортной информации в реальном режиме времени с возможным применением цифрового транспортного следа;
- подсистема оценки, интеграции и пополнения данных о дорожном движении;
- подсистема моделирования;
- платформа программного обеспечения, интегрирующая все подсистемы;
- подсистема передачи информации.

На основании изложенных баз данных и подсистем моделируется информационно-коммуникационная система «ПАССАЖИР» (рис. 1), которая будет включать подсистемы, представленные на рис. 3.

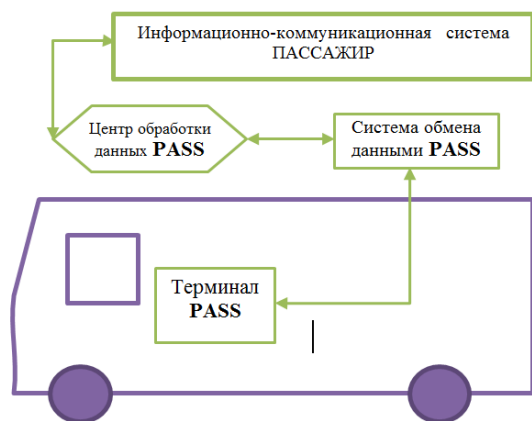


Рис. 1. Информационно-коммуникационная система «ПАССАЖИР»

Подсистема моделирования состоит из сложной совокупности моделей и позволяет определить в динамическом режиме объемы движения на каждом участке сети и время прохождения всех маршрутов в матрицах корреспонденций. Эти данные необходимо

объединить с данными транспортных датчиков и мобильных средств связи пассажиров, как отмечалось ранее – цифрового транспортного следа пассажиров [9], чтобы обеспечить полную и согласованную оценку состояния транспортных и пассажирских потоков в УДС и потом эту информацию предоставить конечным пользователям.

Реализация этого проекта открывает новые возможности по управлению в реальном режиме времени транспортными процессами на ГПТ ОП. Особенно это актуально для динамического моделирования и реального управления транспортным обеспечением в системе городских пассажирских перевозок общественного транспорта.

Особенностью предложенной системы является то, что ранее разрозненные компоненты цифровых систем, применяемых на городском пассажирском транспорте (рисунок 2), будут трансформированы и объединены в единой цифровой транспортной системе ГПТ ОП (рис. 3).

На текущий момент, уже сформировался комплекс решений для наземного пассажирского транспорта. В этот комплекс входит 8 подсистем, образующих систему планирования и управления перевозками (рис. 4), а именно: система ведения базы данных маршрутной сети города, система формирования и ведения базы данных расписаний, система диспетчерского контроля и оперативного регулирования процесса перевозок, система учета транспортной работы и контроля договоров на перевозки, система информирования пассажиров в сети Интернет, на мобильных устройствах и табло, система транспортной безопасности, включающей в себя видеонаблюдение в салонах и система контроля оплаты проезда.

Все эти подсистемы строятся на единой базе данных с реализацией базового правила - любая информация должна вводиться один раз в месте ее возникновения и подгружаться в одну подсистему. Другие подсистемы выполняют только функцию пользователя информации. База данных электронного реестра УДС должна быть единственным источником информации в регионе. Необходимо отметить, что сейчас, к примеру, в Москве ведется создание цифрового двойника улиц города – единая электронная база, куда будут включены все дорожные объекты, в частности дорожные знаки, светофоры, пешеходные переходы и другое. Центр организации дорожного движения для этого оцифровал более 7 тысяч километров улиц города.

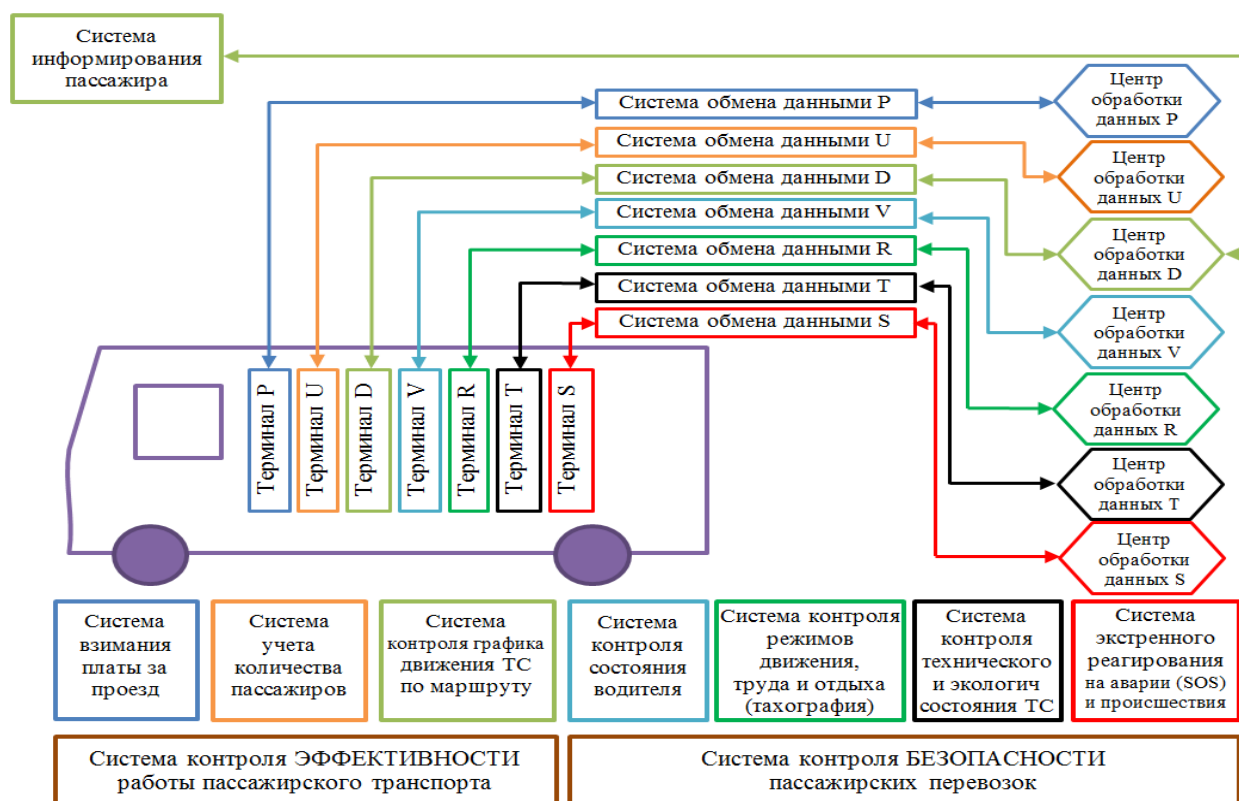


Рис. 2. Возможная конфигурация разрабатываемых (используемых) телематических цифровых систем на городском пассажирском транспорте

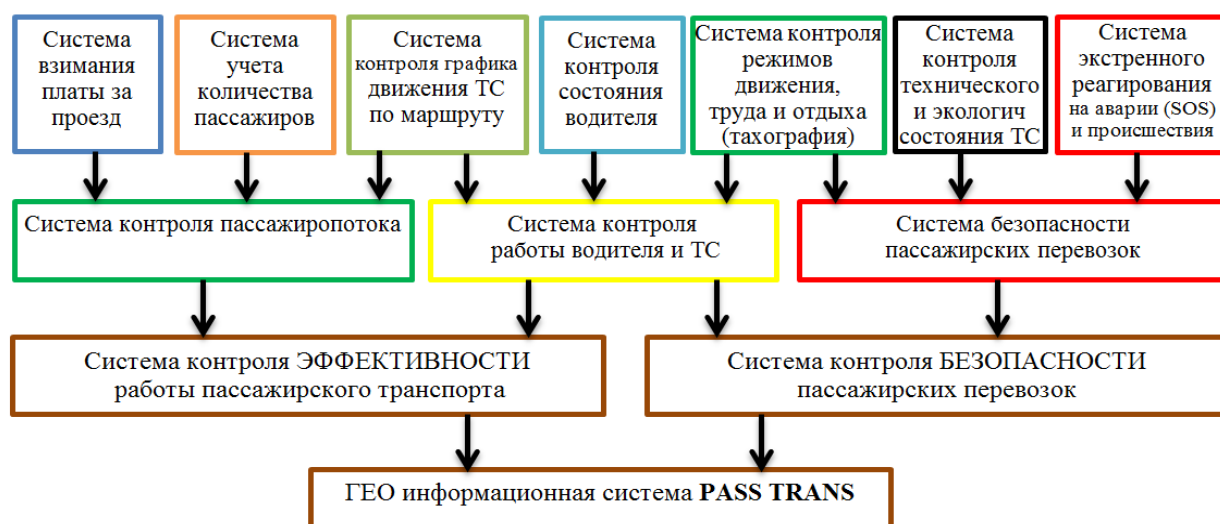


Рис. 3. Возможная трансформация телематических цифровых систем на городском пассажирском транспорте на цифровой платформе

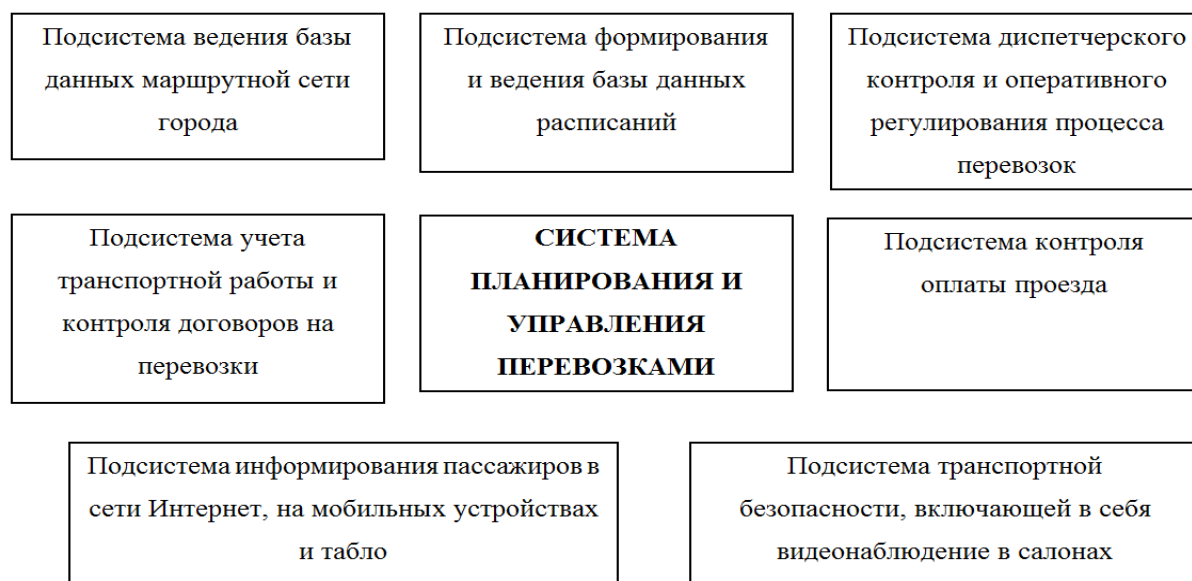


Рис. 4. Система планирования и управления перевозками

Ведение отдельной базы расписания движения городского маршрутного транспорта актуально для больших городов, где есть проблемы оптимизации маршрутов. Система мониторинга пассажиропотока строится на базе использования бесконтактных датчиков подсчета пассажиров либо стереоскопического видения, которые устанавливаются в дверных проемах наземного транспорта. При этом, накапливаемая база данных позволяет производить аналитику совершенно разных разрезов: от загрузки салона по часам суток до оценки потоков по улицам и остановкам. Сегодня готовится технология определения наполнения салона онлайн (на основании стереоскопического видения либо цифрового транспортного следа пассажира). Данные в режиме онлайн позволяют информировать пассажиров о загруженности транспорта, подходящего к остановке. В связи с высокой стоимостью датчиков подсчета пассажиров, сегодня актуально проведение анализа пассажиропотока на основе интеграции системы диспетчеризации (подвижности пассажиров по цифровому транспортному следу) и системы автоматизированной оплаты проезда.

Вывод. Построение единой цифровой транспортной системы на городском пассажирском транспорте общего пользования, объединяющей все подсистемы планирования и организации работы, мониторинга подвижного состава, водителей, пассажиропотоков в единой взаимодействующей системе позволит более оперативно и корректно вырабатывать и выполнять управленческие решения на пассажирском транспорте. Представлены основные этапы разработки модели и конфигурация разрабатываемых телематических цифровых систем на городском пассажирском транспорте состоящая из семи разрозненных основных блоков и ее

трансформация в единую цифровую транспортную систему на единой цифровой платформе.

Л и т е р а т у р а :

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года, от 22 ноября 2008 года № 1734-р. / Официальный сайт Министерства транспорта РФ // www.mintrans.ru
2. Лучко, М.И. Применение геоинформационных систем в задачах мониторинга и прогнозирования движения пассажирского транспорта / М.И. Лучко, А.А. Королёва // Современные проблемы транспорта: материалы Международной научно-практической конференции преподавателей, студентов и молодых ученых, г. Луганск, 14 апреля 2022 года: сборник научных работ. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2022. – С. 5-9.
3. Лучко, М.И. Актуальность проблемы мобильности населения. Научные подходы для ее решения / Нечаев Г.И., Лучко М.И. // ВЕСТНИК Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2022 – № 9 (63) – С. 252-258.
4. Технологии информационного моделирования – неотъемлемая часть цифровой трансформации дорожной отрасли. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itsjournal.ru/articles/technologies/tekhnologii-informatsionnogo-modelirovaniya-neotemlemaya-chast-tsifrovoy-transformatsii-dorozhnoy-ot/>. Дата обращения: 18.04.2023.
5. «ЭРА-ГЛОНАСС» – гарантия безопасности цифровых данных и доступная возможность создания умных сервисов в любом регионе. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itsjournal.ru/articles/interview/era-glonass-garantiya-bezopasnosti-tsifrovyykh-dannykh-i-dostupnaya-vozmozhnost-sozdaniya-umnykh-serv/>. Дата обращения: 18.04.2023.
6. Распоряжение Правительства РФ от 21 декабря 2021 г. № 3744-р Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли РФ до 2030 г.. – [Электронный

ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403211610/>.
Дата обращения: 15.04.2023.

7. Зырянов В.В., Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий // Инженерный вестник Дона, 2011, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/709

8. Лучко, М.И. Совершенствование системы управления и цифровизации городского пассажирского транспорта // Наука в современном мире: актуальные тенденции и инновации: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, 31 марта 2022 года [Электронное издание]. – Москва: ИП Туголуков А.В., 2022. – С. 118-186.

9. Лучко, М.И. Понятие цифрового транспортного следа в информационных технологиях на пассажирском транспорте // Информационные технологии в экономике: Материалы Международной научно-практической Интернет-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 23-24 марта 2022 года [Электронное издание]. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2022. – С. 245-249.

Лучко Максим Иванович, к.т.н., доцент кафедры «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: maxl_dal@mail.ru

Luchko Maxim Ivanovich, Ph.D., Associate Professor of the Department of Transport Technologies Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Будиков Леонид Яковлевич, д.т.н., профессор кафедры «Аварийно-спасательные работы», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: leonidbudikov@yandex.ru

Budikov Leonid, professor of the department of “Emergency Rescue Work”, Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Захарчук Александр Сидорович, профессор кафедры «Электротехнические системы электропотребления», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: kaf_energo_sys@mail.ru

Zakharchuk Alexander, professor of the department of “Electrical engineering systems of power consumption”, Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Статья подана 15.05.2023

УДК 656.025.4

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ

Нечаев Г. И., Киричевский А. Р.

SOME QUESTIONS IN THE PREPARATION OF TECHNICAL CONDITIONS FOR CARGO TRANSPORTATION

Nechayev G. I., Kirichevsky A. R.

В статье рассмотрены предпосылки к двум первым догрузочным этапам при транспортировке грузов некоторыми видами грузового автотранспорта: выбору транспортного средства и составлению схемы размещения груза. Для верной аргументации при составлении технических условий транспортировки дан обзор грузов и транспортных средств их перевозки. Показана необходимость в автоматизированной системе подготовки технических условий размещения и крепления груза на автотранспорте.

Ключевые слова: грузовой транспорт, негабаритный груз, схема размещения груза.

Введение. Услугами грузоперевозок пользуются практически все отрасли народного хозяйства. Виды грузового транспорта, как и перевозимого ими груза, со временем изменяются. Растут требования к экологичности перевозок, их качеству, скорости, сокращению затрат. Так, в Академии Международного союза автомобильного транспорта (МСАТ) – организации, занимающейся профессиональной подготовкой в сфере автомобильного транспорта в международном масштабе – считают, что цифровизация, оптимизация коэффициента загрузки и более широкое использование транспортных платформ для совместной работы могут способствовать снижению CO₂ до 10% в ЕС. Использование транспортных средств большой вместимости также может привести к снижению CO₂.

Цель работы – обзор и выявление ответов на некоторые вопросы, возникающие при подготовке технических условий транспортировки грузов.

Изложение основных материалов. Одними из распространенных и доступных являются автомобильные грузовые перевозки. В наше время для транспортировки груза представлен обширный рынок, в том числе, и грузового автотранспорта. Очевидно, что правильный выбор транспортного средства необходимо сделать до погрузки груза и этот выбор является первым этапом при подготовке технических условий транспортировки. На выбор

транспортного средства влияют многие факторы: вид груза, масса груза, расположение груза на грузовой платформе и, как следствие, создаваемая нагрузка на оси, удобная загрузка и разгрузка, а также экономичность (максимальное заполнение имеющегося пространства при минимальных затратах). Ввиду этого выделяют признаки классификации грузового автомобильного транспорта [1, 2]:

- по количеству осей: двух-, трех-, четырех-, пяти- и более -осные;
- по составу: одиночное транспортное средство и автопоезд (седельный, состоящий из тягача и полуприцепа, или прицепной – из фургона и прицепа);
- по грузоподъемности: малой (0,5-2 тонны), средней (от 2 до 5 тонн), большой (5-16 тонн), особой большой (от 16 тонн);
- по полной максимально допустимой массе (состоящей из массы транспортного средства, массы груза и массы экипажа): до 1,2 тонн, от 1,2 до 2 тонн, от 2 до 8 тонн, от 8 до 14 тонн, от 14 до 20 тонн, от 20 до 40 тонн и свыше 40 тонн;
- по типу используемого топлива: карбюраторные, дизельные, газобаллонные, электрические, на аккумуляторных электромоторах.

Интерес представляет классификация грузовых автотранспортных средств по типу кузова:

- открытый: бортовой, низкорамный, платформа;
- закрытый: тентованный, цельнометаллический, промтоварный, изотермический, рефрижератор;
- специальный: цистерна, строительная и специальная техника (мусоровоз, лесовоз, автовоз и пр.).

Данная классификация определяет функции автотранспортного средства: для какого груза (наливного, насыпного, навалочного, генерального) и каких условий транспортировки оно предназначено.

Различные виды грузов имеют свои особенности транспортировки. Например, к

наливным грузам-веществам, которые для сохранения своих свойств и товарных качеств должны перевозиться в жидком или сжиженном газообразном состоянии: растительные масла, спирты, нефть и нефтепродукты, кислоты, пропан, бутан и пр. – невозможно применять единые правила транспортировки, поскольку их делят на нефтепродукты, химические грузы (кислоты, щелочи, а также сжиженные газы), пищевые продукты. А главной особенностью для организации транспортировки являются физико-химические свойства таких грузов. Эти свойства определяют выбор транспортного средства и цистерн, условий и длительности перевозки, особенности погрузки и разгрузки, необходимости получения разрешения, квалификацию водителя, количество и вид сопроводительных документов и пр. Так, нефтепродукты, способные к электролизу, наливают, заземляя наливную эстакаду транспортного средства. Вещества с высокой вязкостью предварительно разогревают, учитывая при этом их температуру вспышки и воспламенения. Перед наливом пищевых жидкостей проверяют: соответствует ли автоцистерна санитарно-гигиеническим нормам. Перевозка других грузов может потребовать добавления специальных присадок, повышающих электропроводность, уменьшающих вязкость, снижающих коррозионность и т.п.

Таким образом, все этапы перевозки наливных грузов полностью зависят от вида перевозимого вещества и его физико-химических свойств. Однако наливной, насыпной и навалочный грузы можно перемещать водным, ж/д, авиа- и автотранспортом, в отличие от генеральных (по [3] «делимых грузов») негабаритных грузов [1], для которых пригодны водный, автомобильный транспорт и специальный ж/д транспорт.

В целом, понятие «негабаритные грузы» условно включает три категории:

- длинномерные – протяженностью от 12 м на грузовом прицепе и от 16 м на автопоезде или выходящие за пределы крайней точки транспортного средства на 2 м и более;
- тяжеловесные – с массой, превышающей параметр предельной нагрузки на авто, высчитанный заводом-производителем;
- крупногабаритные – от 2,6 м в ширину и 4 м в высоту, при актуальной длине от 12 м.

Причем один и тот же груз способен присутствовать в нескольких группах одновременно – например, быть и негабаритным, и тяжеловесным. Так, товарно-материальные ценности, подходящие под длинномерный груз, независимо от массы перевозят исключительно автомобилями или морскими танкерами, поэтому экспертам, отвечающим за организацию транзита, приходится делать выбор исключительно в пользу специализированных машин: тягачей, транспортеров, низкорамных платформ, тралов,

современных панелевозов. Причем фургоны не только проходят регулярные технические проверки на предмет соответствия заявленным эксплуатационным характеристикам, но и оснащаются дополнительным оборудованием фиксационного формата. Кроме того, логистам и экспедиторам приходится пользоваться уникальными регламентами для избегания нарушений и штрафов.

Таким образом, в отличие от других видов грузов, негабаритные грузы нуждаются исключительно в специальных морских или автотранспортных средствах транспортировки с дополнительным оборудованием и разрешением на перевозку. Кроме того, указанные перевозки характеризуются уникальностью выполнения каждого проекта.

Заметим, что при подготовке статьи были найдены подробные описания, например, выбора рода подвижного состава и размещения в нем груза с плоской опорой на ж/д транспорте и предложения по созданию автоматизированной системы подготовки технических условий по размещению груза [4]. В [5] показан начальный этап последовательной автоматизации расчёта схем размещения и крепления грузов на ж/д транспорте. На сайтах крупных ж/д перевозчиков имеются предложения по решению различных технических задач. Так, в ценах на ж/д перевозки от УралСервисТрейд [6] за один чертеж (негабарит) расположения груза указано от 30000 рублей. Найдена в источнике [7], в общих чертах описанная, безопасная интеллектуальная система поддержки принятия решений при перевозке негабаритных грузов, где ключевым элементом выделена база знаний, содержащая актуальную информацию о перевозке, однако, конкретных схем или алгоритмов размещения грузов на автотранспорте не найдено [8, 9]. Разработка и внедрение подобной автоматизированной системы подготовки технических условий размещения и крепления груза на автотранспорте способствовало бы повышению безопасности его работы, поскольку позволило бы исключить человеческий фактор: некомпетентность, например, и небрежность работников, связанных с подготовкой, размещением и креплением груза, сократило время подготовки технической документации, повысило качество и ускорило работу транспортной системы.

Необходимо отметить, что, несмотря на то, что, по российскому законодательству, погрузка (куда входит также крепление груза в транспортном средстве) осуществляется грузоотправителем, перевозчик должен утвердить схему размещения и крепления грузов. Кроме того, согласно Постановлению [3] размещение делимого груза на транспортном средстве осуществляется с учетом допустимых габаритов транспортного средства, не превышая значения допустимой массы транспортного средства и/или допустимой нагрузки

на ось транспортного средства. Конкретных схем в [3] также не предлагается.

Далее, для выполнения второго этапа подготовки технических условий погрузки: для создания схемы погрузки необходимо определить грузоподъемность транспортного средства. Основные определения и формулы возьмем из [2].

Грузовместимостью подвижного состава называют наибольшее количество груза, которое может одновременно перевозиться, исходя из его максимально допустимой полной массы и размеров кузова. Грузовместимость оценивают фактической грузоподъемностью и коэффициентом грузовместимости. В [2] даны выражения для нахождения фактической грузоподъемности q_{ϕ} , [т]:

$$q_{\phi} = ab(h + h_1)\rho_0, \quad (1)$$

где a , b , h – внутренние габаритные размеры кузова: длина, ширина, высота соответственно, [м]; h_1 – расстояние от верхнего края платформы до уровня погрузки груза, [м]; ρ_0 – объемная масса (плотность) груза, [т/м³].

Удельная объемная грузоподъемность q_v , [т/м³], регламентируется при проектировании подвижного состава, является отношением полезной грузоподъемности к внутреннему объему кузова и определяется отношением номинальной грузоподъемности к полному объему кузова:

$$q_v = \frac{q_n}{V_k}, \quad (2)$$

где q_n – номинальная грузоподъемность подвижного состава, [т]; V_k – полный объем кузова, [м³].

Подбор подвижного состава для перевозки грузов производят с учетом соотношения удельной объемной грузоподъемности и удельной грузовместимости. Полное использование грузоподъемности подвижного состава возможно лишь в том случае, когда значение его удельной объемной грузоподъемности q_v совпадает с удельной грузовместимостью.

Степень возможного использования полезной грузоподъемности подвижного состава при перевозке грузов с разным объемным весом и другими особенностями характеризует коэффициент грузовместимости γ . В основном степень возможного использования полезной грузоподъемности подвижного состава зависит от соотношения между внутренними геометрическими размерами кузова и объемной массой груза, от особенностей груза и конструкции кузова. Все эти факторы учитываются коэффициентом грузовместимости, рассчитываемым по выражению:

$$\gamma = \frac{V_k \eta \rho_0}{q_n}, \quad (3)$$

где V_k – внутренний геометрический объем кузова подвижного средства, [м³]; η – коэффициент использования объема кузова при данном виде груза; ρ_0 – объемная масса (плотность) груза, [т/м³];

q_n – номинальная грузоподъемность подвижного средства, [т].

Коэффициент грузовместимости показывает, какая часть грузоподъемности подвижного состава может быть использована при перевозке данного груза. Считают, что грузоподъемность подвижного средства может быть использована полностью при $\gamma \geq 1$ и чем меньше значение коэффициента грузовместимости, тем меньше используется грузоподъемность подвижного состава.

Коэффициент использования объема кузова η является отношением фактически используемого объема кузова при данном виде груза и его упаковки к его полному геометрическому объему. В случае возможности полного использования объема кузова, например, погрузки бортовой платформы вровень с бортами или кузова фургона на его полную высоту, $\eta = 1$. Когда же по особенностям данного вида груза и условиям его перевозки полный внутренний объем кузова не может быть использован, $\eta < 1$. Такое положение дел может иметь место, например, при перевозке с бортовой платформой или с открытым кузовом – самосвалом навалочных или насыпных грузов – зерна, свёклы, яблок и пр., поскольку погрузка такого груза производится ниже уровня бортов платформы с целью предотвращения потерь при перевозке. Характерные случаи неполного использования объема кузова из-за отсутствия кратности размеров груза и размеров кузова подвижного состава показаны на рис. 1. Для разных видов штучных грузов и схем их укладки в [2] указаны значения коэффициента использования объема кузова η . При перевозке в открытом кузове некоторые виды грузов могут быть погружены выше уровня бортов, в этих случаях $\eta > 1$.

Еще одним важным параметром является удельная грузоподъемность пола кузова, [т/м²]. Он определяет нагрузку на один квадратный метр полезной площади пола кузова, при которой достигается полное использование грузоподъемности подвижного средства. В зависимости от соотношения фактической удельной нагрузки на пол кузова f_{ϕ} и удельной грузоподъемности пола кузова $f_{y\phi}$ возможны ситуации: $f_{\phi} < f_{y\phi}$ – площадь пола кузова используется полностью, но грузоподъемность пола полностью не используется и $f_{\phi} > f_{y\phi}$ – полное использование грузоподъемности пола кузова автомобиля достигается при неполном использовании его полезной площади и объема.

Для штучных и пакетированных грузов, перевозимых в один ярус, высота загрузки соответствует высоте грузового места. При укладке тарно-штучных грузов в несколько ярусов превышение уровня бортов подвижного состава определяется условием обеспечения устойчивого положения груза во время перевозки. Нередко объем кузова подвижного средства не может быть полностью использован из-за отсутствия кратности размеров штучного груза с размерами кузова, при

этом, чем больше размеры груза и меньше размер кузова, тем большая часть площади пола кузова остается неиспользованной. Описание других

значимых параметров можно найти в основном в учебных пособиях и монографиях типа [1, 2, 10].

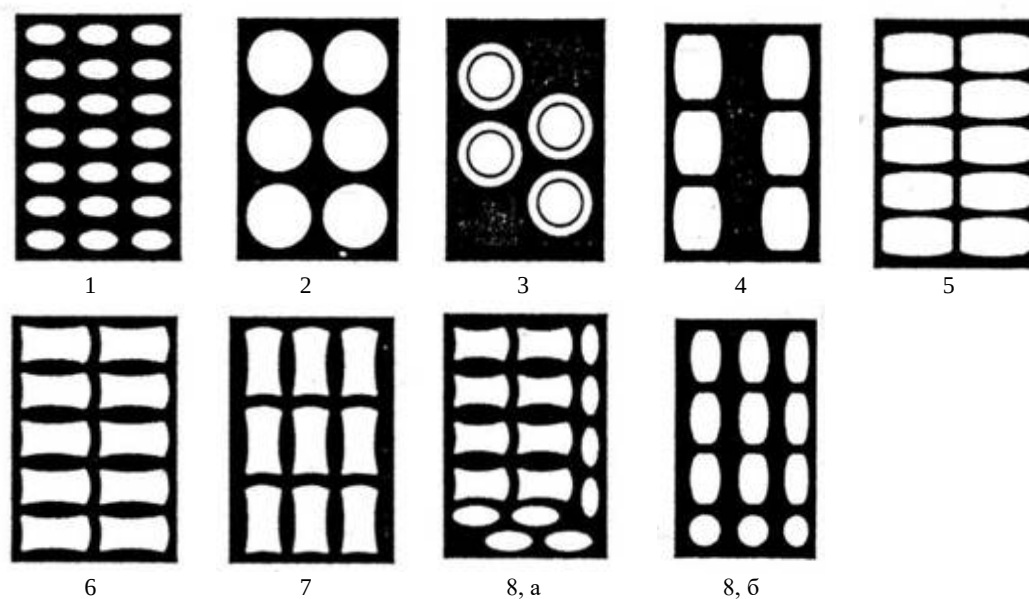


Рис. 1. Схемы загрузки площади пола кузова подвижного состава [2]:

1 – вертикальная; 2 – вертикальная рядами; 3 – вертикальная комбинированная; 4 – лежащая продольная; 5 – лежащая поперечная; 6 – горизонтальная поперечная; 7 – горизонтальная продольная; 8 – комбинированные

При установлении способа размещения груза, кроме габаритных параметров и его массы, учитывают силы и нагрузки, действующие на груз при транспортировке [9]: 1) продольную инерционную силу, которая возникает при процессах разгона и торможения транспортного средства; 2) поперечную инерционную силу, которая возникает при вписывании транспортного средства в кривые и переходные участки пути; 3) вертикальную инерционную силу, которая возникает из-за ускорений при колебании кузова транспортного средства во время движения; 4) ветровую нагрузку, действующую на поверхность транспортного средства и на выступающие за пределы кузова части груза; 5) силу трения, возникающую между грузом и полом кузова подвижного состава, 6) силу тяжести.

Точкой приложения всех инерционных сил является центр силы тяжести, а силы ветра – центр наветренной поверхности груза. Смещение груза происходит, когда сила инерции будет превышать силу трения. Чтобы обеспечить несмещаемость груза, сумма сил в каждом направлении и сумма моментов в каждой плоскости должны быть равны нулю. Следовательно, без обеспечения должного крепления, груз будет смещаться под действием этих сил. Поэтому существует специальное крепежное оборудование, которое позволяет обеспечить фиксацию груза на одном месте.

Выводы. Представленный обзор и рассмотрение некоторых вопросов, возникающих на подготовительном этапе разработки технических

условий размещения грузов на автотранспорте в классических исполнениях, в зависимости от различных факторов, дают возможности для наилучшего обоснования в выборе правильного транспортного средства и схемы размещения груза, что может быть решено с помощью математического моделирования. В итоге, в зависимости от решаемой задачи (например, от задачи линейного программирования до многоцелевой нелинейной), применяемых критериев эффективности транспортной системы, можно осуществить математическую постановку модели, используемой в будущей автоматизированной системе подготовки технических условий размещения и крепления груза на автотранспорте. Это, безусловно, может повысить эффективность использования транспортных средств и безопасность работы транспортных систем в современных условиях.

Л и т е р а т у р а

1. Довженко А.С. [и др.] Организация перевозок и управление на транспорте. Технология. Часть 2: учеб. пособие / под ред. С.Н. Корнилова и А.Н. Рахмангулова. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – 176 с.
2. Зотов Л.Л. Грузоведение. Учебно-методический комплекс. Учеб. пособие. – СПб.; Изд-во СЗТУ, 2008. – 69 с.
3. Постановление Правительства РФ от 21.12.2020 № 2200 «Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом и о внесении изменений в пункт 2.1.1 Правил дорожного движения Российской Федерации»; С изменениями и дополнениями от: 30

ноября 2021 г., 30 декабря 2022 г.

4. Еловой И.А., Гончар М.А. Оптимизация расчёта схем размещения и крепления грузов на открытом подвижном составе с помощью применения VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2015. – № 2 (31). – С. 105-108.

5. Гозбенко В.Е., Оленевич В.А., Каргапольцев С.К. Автоматизированная система размещения и крепления груза на открытом подвижном составе железнодорожного транспорта // Вестник ИрГТУ. – 2017. – Том 21. – № 4. – С. 157-165. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-4-157-165.

6. Разработка схем (чертежей) погрузки грузов. URL: <https://www.ust66.ru/info/razrabotka-sxem-chertezhej-pogruzki-gruzov/> (дата обращения 28.07.2023).

7. Искандеров Ю.М., Чумак А.С., Шахнов С.Ф. Интеллектуальная поддержка принятия решений по перевозке негабаритных грузов // Системный анализ в проектировании и управлении. Сборник научных трудов XXVI МНПК. В 3-х частях. Санкт-Петербург. – 2023. – С. 319-323.

8. Инструкция по перевозке крупногабаритных и тяжеловесных грузов автомобильным транспортом по дорогам российской федерации (в ред. Приказов Минтранса России от 22.01.2004 N 8, от 21.07.2011 N 191, от 24.07.2012 N 258).

9. ГОСТ 26653-2015 Межгосударственный стандарт. Подготовка генеральных грузов к транспортированию.

10. Нечаев Г.И., Бабушкин Г.Ф. Управление грузовой и коммерческой работой и грузоведение. Луганск: Изд-во Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля, 2002. – 568 с.

Nechayev G.I., Kirichevskiy A.R.

SOME QUESTIONS IN THE PREPARATION OF TECHNICAL CONDITIONS FOR CARGO TRANSPORTATION

This article considers the prerequisites for the first two pre-loading stages in the transportation of goods by some types of trucks: the choice of a vehicle and the drawing up of a cargo placement scheme. For correct argumentation in the preparation of technical conditions of transportation, an overview of goods and vehicles for their transportation is given. The need for an automated system for preparing technical conditions for placing and securing cargo on vehicles is shown.

Keywords: cargo transport, oversized cargo, cargo placement scheme.

Нечаев Григорий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры транспортных технологий, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: logistikatt@mail.ru

Nechayev Grigoriy, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Transport Technologies Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Киричевский Алексей Ростиславович, старший преподаватель школы робототехники, г. Ростов-на-Дону.
E-mail: akirichevskiy@inbox.ru

Kirichevsky Aleksey, Senior lecturer the Robotics School, Rostov-on-Don.

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

Статья подана 05.06.2023

УДК 656.01

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КАРАВАНИНГА КАК РАЗНОВИДНОСТИ АВТОТУРИЗМА В ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Нечаев Г. И., Рябичев В. Д., Соколовская Е. А., Соколовский А. Я.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT OF CARAVANING AS A VARIETY OF CAR TOURISM IN THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC

Nechayev G. I., Ryabichev V. D., Sokolovskaya E. A., Sokolovsky A. Y.

В статье рассмотрены основные проблемы и особенности туристической деятельности в Луганской Народной Республике. Особое внимание уделено состоянию и развитию транспортной инфраструктуры, обслуживающей туристический бизнес. Определены и проанализированы составляющие транспортной инфраструктуры, факторы ее развития и потенциальные ресурсы. Представлено современное состояние взаимодействия между транспортом и туризмом.

Ключевые слова: туристская инфраструктура, автомобильный туризм, кемпинг, дорожная инфраструктура, караванинг, кемпер.

Введение (постановка проблемы). Одним из источников повышения благосостояния и важной частью экономической структуры государства является туристическая деятельность. Туризм способствует выходу на мировой уровень обслуживания и сервиса, и соответственно, увеличению как внутренних, так и внешних туристических потоков, что влечет за собой приток финансов из других стран. Обладая огромным потенциалом рекреационных и культурно-исторических ресурсов для развития туристической деятельности, Россия не в полной мере использует свой потенциал.

Главная цель туристической деятельности – разработка маршрутов, формирование туристических потоков в соответствии с выбранными маршрутами, производство товаров и предоставление туристских услуг, комплектование туристского продукта в соответствии с предпочтениями (спросом) потребителя с выгодой для себя, с учетом природно-ресурсных возможностей региона.

В последние годы в России наблюдается интерес к автомобильному туризму. Автомобильный туризм является самым комфортным представителем из всех активных видов туризма. Он гармонично сочетается с многими предпочтениями туристов во время путешествия и отдыха.

Анализ исследований и публикаций. По данным агентства «Турстат» ежегодно более 20 миллионов человек по всему миру отправляются в автомобильные туры – путешествуют с комфортом, не думая о билетах и гостиницах, на собственном или арендованном автотранспорте. Автопутешествия стали не просто разновидностью туризма, они превратились в особый стиль жизни и даже культуру. Страны Североамериканского континента (США, Канада) страны Западной Европы (Италия, Испания, Германия, Швейцария, Франция) по праву признаны лидерами в организации автомобильного туризма. Россия не входит даже в первую десятку стран по развитию автотуризма [5].

Исследования бизнес-среды предприятий туризма, гостеприимства и сервиса проводились ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», экспертами «Авито Авто» и др.

Рассматривались любые дома на колесах как со встроенным в транспортное средство жилым помещением, так и прицепы, оборудованные для проживания.

Анализ состояния автомобильного туризма в стране проводился исследователями по следующим параметрам [5]:

- цели (мотивы) российских автопутешественников;
- наличие российских туристских компаний, предлагающих автотуры;
- объекты привлекательности перспективные для развития автотуризма;
- региональная инфраструктура;
- объёмы проката и аренда автотранспорта, наличие прокатных пунктов;
- статистика ввоза автодомов в РФ.

В целом сделаны выводы о неудовлетворительном развитии дорожной системы, что, безусловно, является ограничивающим фактором, но наличие региональных целевых

программ по их развитию свидетельствует о заинтересованности администраций отдельных регионов в развитии данного вида туризма.

Цель статьи – оценка возможностей автотуризма в регионе и популяризация караванинга, что позволит увеличить парк автомобильных домов, развитие транспортной инфраструктуры в России в целом.

Материалы и результаты исследования. Любой регион имеет те или иные ресурсы, которые могут быть использованы в туристских целях при наличии соответствующих условий. По существу, регион – это природно-географическая, историко-культурная самобытность и поэтому его можно рассматривать как туристский ресурс.

Функциональное назначение туристских ресурсов – это удовлетворение духовных потребностей и восстановление физических сил человека-путешественника.

Туристские ресурсы представляют собой совокупность свойств различных аттракторов и объектов обслуживания образующих туристскую систему. В свою очередь они целевым образом соединяются в туристские пакеты, в интересах удовлетворения потребностей клиента (туриста).

Проведенные исследования показывают – недостаточно развитая инфраструктура оказывает отрицательный эффект на развитие всего туристского бизнеса.

Вопрос создания необходимой инфраструктуры является особенно актуальным.

Автомобильный туризм (автотуризм), наряду с классическим туром, является одним из форматов путешествия.

Автомобиль – транспортное средство на колёсном (реже полугусеничном или другом) ходу с собственным двигателем для перевозок по безрельсовым путям.

Туризм – 1. Вид спорта – групповые походы, имеющие целью физическую закалку организма. 2. Вид путешествий, совершаемых для отдыха и самообразования.

Автомобильный туризм (автотуризм) – передвижение людей на личном или взятом в аренду транспорте в другие страны и территории с целью смены обстановки, отдыха, получения новых эмоций.

В процессе исследования выявлено, что подавляющее большинство россиян путешествует на автомобиле с семьёй либо с друзьями в компании, состоящей из 3-4 человек. Средняя длительность поездки – 15-20 дней. Наиболее популярные маршруты российских автопутешественников – туры по «Золотому Кольцу», на юг России, Валдай, по Карелии, великими рекам России (Волга, Дон) и т. д.

Наиболее популярными маршрутами путешественников ЛНР и ДНР являются рыболовные туры:

– Оскольское водохранилище – русловое водохранилище на реке Оскол расположено в Харьковской области, а также частично в Донецкой;

– Река Ахтуба – левый рукав Волги, отделяющийся от неё напротив северной части Волгограда. Река Ахтуба, являясь левобережным рукавом Волги, считается достаточно крупным водоемом. Путь по карте начинается в Волгоградской области, а продолжается в Астраханской.

При выборе мест отдыха автотуристы отдают предпочтение остановкам в местах с нетронутой природой.

Таким образом, с развитием автомобильного туризма за последние десятилетия сформировался новый вид путешествий – караванинг.

Согласно определению Федерального союза индустрии караванинга Германии, караванинг – вид туристского отдыха на караване или автомобиле типа «дом на колесах» (motorhome) со специально оборудованным для жилья кузовом или прицепом, а путешествующие таким способом называются караванерами [2].

У караванеров сформировалась своя собственная философия, которую можно сформулировать как: «Все свое вожу с собой, где припарковался там и дом», и кодекс неписаных правил:

– кемпер – полноценный в привычном понимании дом;

– не отказываться от привычного быта. Машино-дом не только лишь транспортное средство. Его внутреннее обустройство должно позволять вести нормальную жизнь, включающую в себя приготовление пищи, сон, туалетные процедуры, просмотр видеофильмов и общение внутри семьи. Важно, чтобы в автофургоне были оборудованы полноценные спальные места, трансформируемая кухня и биосанузел;

– необходимо твердо усвоить, что автодом не универсальное средство передвижения. Это правило актуально для посещения европейских городов, так как приходится оставлять фургон на специализированных загородных стоянках. Необходимо подготовиться к тому, что на каких-то участках туристских маршрутов возникает необходимость использования альтернативных видов транспорта (рис. 1), как-то общественный транспорт, средства индивидуальной мобильности (велосипед, электросамокат, гироскутер и т.п.).

Караванинг – довольно специфический активный вид туристского отдыха и сочетает в себе различные формы отдыха.

Караванер должен обладать навыками водителя-дальнобойщика. Ему необходимы: умение водить транспорт больших размеров, знание устройства и ремонта автотранспортного средства и оборудования системы жизнеобеспечения автодома, познания в инфраструктуре, умение читать карты и ориентироваться на местности.



Рис. 1. Автофургон с оборудованным местом для перевозки велосипедов

За рубежом достаточно высокий уровень развития автотуризма. Караванинг-индустрия уверенно набирает обороты благодаря грамотно построенной стратегии развития.

Караванинг как туристическое направление в Российской Федерации только начинает обретать популярность вступая в конкуренцию с традиционным туристским отдыхом и обычным автомобильным туризмом.

Для развития караванинга Россия обладает огромным потенциалом. Туристские ресурсы региона делятся на три группы: природные, природно-антропогенные и антропогенные.

Потребности туристов (рис. 2) формируют цели (оздоровление, отдых, знакомство с культурными ценностями и т.п.), для реализации которых необходимо присутствие на территории привлекательных объектов и развитая инфраструктура.

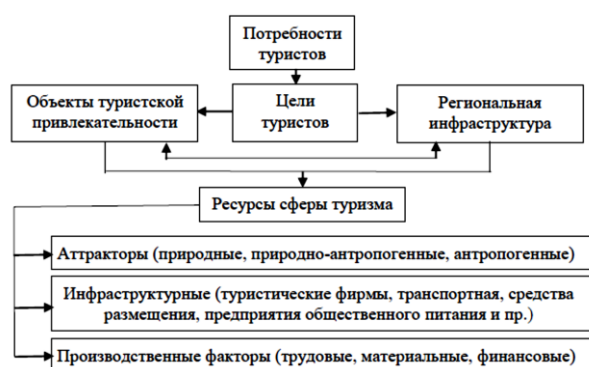


Рис. 2. Целевая структуризация туристического потенциала в регионе [4]

При традиционном отдыхе с проживанием в отеле для туриста важен комфорт и подобающий уровень сервиса. При этом зачастую турист сталкивается с проблемой наполненности гостиниц. Да и соотношение цена-качество обслуживания оставляет желать лучшего.

Путешествуя караванингом турист свободен в выборе направления, отпадает необходимость в бронировании гостиниц по пути. Он может спокойно более глубоко погружаться в культуру страны посещения, полностью и многогранно познавать ее

живописные окрестности и достопримечательности, сократив при этом свои расходы и сохранив значительную часть своего бюджета в связи с отсутствием трат на проживание.

На рынке караванинга представлены различные виды домов на колесах на любой вкус и кошелек, в зависимости от потребностей и платежеспособности, например, палаточный прицеп, дом-фургон, автодом внедорожник и так далее.

Цены на автодома колеблются в зависимости от новизны и комплектности. Подержанный можно приобрести от 200 000 рублей до 1,5 млн руб. Стоимость новых гораздо выше от 5,5 млн руб.

Самый дешевый дом-фургон с двумя спальными местами изготовлен в России. Стоимость его составляет около 2 000 000 рублей.

Можно сэкономить – сделать дом своими руками (рис. 3). Американец Джони Луччи приобрел транспортный самолет времен второй мировой войны Douglas R4D, выпущенный в 1943 году, списанный в 1980 г. Умельцы отрезали крылья и хвост, а фюзеляж установили на раму грузовика.

В результате получился автодом на колесах, получивший название Fabulous Flamingo (рис. 3). На автодом на колесах Fabulous Flamingo выдали регистрационные документы, тем самым подтвердив абсолютную законность переделки.

Для жизни на колесах нужно не так уж много. Из удобств по минимуму стандартная бюджетная модель включает: кухню с газовой плитой, холодильник, умывальник, душевую кабину, биотуалет, систему отопления, водные резервуары, диван, пара кресел, стол, шкаф (рис. 4).

Современный дом на колесах оборудован телевизором, приставкой, кондиционером, солнечными батареями (рис. 5).

Солнечные батареи, преобразуя энергию Солнца в электрическую, позволяют караванерам сэкономить на электричестве.

На протяжении всего путешествия караванеры находятся, по сути, всегда вместе со своим домом и привычными вещами. Для управления автофургоном достаточно прав категории В, если его максимальная масса не превышает 3,5 тонны. Если масса превышает 3,5 тонны – у водителя должны быть права «С» и «Е».



а



б

Рис. 3. Fabulous Flamingo:
а – создание дома на колесах; б – «Сказочный Фламинго» созданный из грузовика и фюзеляжа самолета



Рис. 4. Бюджетная модель автодома



Рис. 5. Автофургон, оснащенный солнечными панелями

Одним из преимуществ путешественников со своим домом является возможность караванеров останавливаться по своему выбору в специальных, для этого предназначенных зонах – кемпингах либо на облюбованных площадках вне населенных пунктов и имеют возможность проживать в различных местах стран без регистрации по месту проживания, не ограничивая своего выбранного туристского направления.

Основной сдерживающий фактор автотуризма – это слаборазвитая транспортная инфраструктура. Восстановление инфраструктуры региона и дальнейшее ее развитие позволило бы открыть его для внутреннего и въездного туризма. Развитие

индустрии караванинга требует высокого уровня инфраструктуры, стабильной экономической ситуации в стране и стабильного уровня жизни населения [3].

В регионе, да и для всей страны в целом, караванинг является инновационным, он начал развиваться чуть более 10 лет назад. В самом регионе данный вид туризма находится в стадии зарождения. Однако уже можно наблюдать после присоединения Луганской Народной Республики к Российской Федерации положительные изменения, а именно: доступ к рынку автомобильных домов и прицепов ведущих производителей отрасли.

Учитывая туристский потенциал для социально-экономического роста региона, целесообразным является разработка системного подхода к формированию индустрии караванинга.

Для эффективного развития индустрии караванинга в стране первоочередными задачами являются:

1. Создание условий для социальной стабильности в регионе.
2. Разработка грамотной маркетинговой стратегии и популяризация развития караванинга.
3. Развитие региональной придорожной инфраструктуры и повышение качества дорог регионального значения.
4. Содействие привлечению инвестиций.
5. Налаживание отечественного производства техники и запасных частей, необходимых для караванинг-индустрии.
6. Совершенствование нормативно-правовой базы, обеспечение безопасного дорожного движения и безопасности туристов.
7. Снижение импортных таможенных пошлин. Цены в Европе на автодома ниже почти в 2 раза, чем в Российской Федерации.

Выводы. Автотуризм при грамотной организации, может эффективно влиять на социально-экономическое развитие регионов. Условия проживания и трансферных услуг являются определяющими факторами при выборе туристического направления для туристов. Свою роль на развитие этого туристического направления в регионе, сыграл комплекс следующих факторов: в первую очередь военные действия, повлекшие за собой отток населения из районов проведения боевых действий, разрушенная инфраструктура, количество личного транспорта, ритм и качество жизни.

Туристическая сфера региона требует кардинальных преобразований с учетом несоответствия институциональной среды и спроса в сфере внутреннего и въездного туризма. Для решения этих актуальных проблем необходимо разрабатывать новые формы и направления туристических услуг. Сегодня одним из популярных видов туризма, особенно за рубежом, является автотуризм.

С целью изменения ситуации, сложившейся в регионе в части развития караванинга, необходим целый комплекс мер государственного уровня. Сегодня бизнесмены не хотят вкладывать средства в туристские проекты с длительной окупаемостью. Для этого необходимо искать привлекательные направления для инвестирования. Развитие придорожной туристской инфраструктуры для автотуризма является одним из перспективных инвестиционных направлений.

Л и т е р а т у р а

1. Артюшенко К.В. Разработка стратегий международного туризма РФ в ЕАЭС на основе

инновационного подхода / К.В. Артюшенко // Студенческий электронный научный журнал. – 2018. – № 12 (32). – С. 26-31.

2. Аксёнов А.П., Монастыренко Д.Ю. Развитие автомобильного туризма в России на основе опыта стран Европы и его влияние на экономику страны / А.П. Аксёнов, Д.Ю. Монастыренко // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 2 (14), 2012, т. 3. – С. 18-22.

3. Оборин М.С. Караванинг как инновационный вид туризма / М.С. Оборин // Современные проблемы сервиса и туризма. – 2021. – Т. 15. – № 2. – С. 36-46.

4. Свиридова Н.Д., Козьякова С.С., Дитковская С.А. Развитие туризма в Луганском регионе: теория и практика управления: Монография / Н.Д. Свиридова, С.С. Козьякова, С.А. Дитковская. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. Даля, 2019. – 176 с.

5. Штейнгольц Б.И. Автомобильный туризм в современной России: точки роста / Б.И. Штейнгольц, В.А. Назаркина // Наука о человеке: гуманитарные исследования. – 2015. – № 4 (22). – С. 225-231.

Nechayev G.I., Ryabichev V.D., Sokolovskaya E.A., Sokolovsky A.Y.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT OF CARAVANING AS A VARIETY OF CAR TOURISM IN THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC

The article deals with the main problems and features of the tourism industry in the Lugansk People's Republic. Particular attention is paid to the state and development of the transport infrastructure serving the tourism business. The components of the transport infrastructure, factors of its development and potential resources are identified and analyzed. The current state of interaction between transport and tourism is presented.

Key words: tourist infrastructure, car tourism, camping, road infrastructure, caravanning, camper.

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

E-mail: logistikatt@mail.ru

Nechayev Grigoriy, Dr. tech. sciences, prof. Department of "Transport Technologies", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рябичев Виктор Дронович, д-р техн. наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: dahl.univer@yandex.ru

Ryabichev Viktor, Dr. Sci. (Eng.), professor, rector of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Соколовская Елена Александровна, ассистент кафедры «Туризм и гостиничное дело», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: sokolik_lena@mail.ru

Sokolovskaya Elena, assistant of the department "Tourism and hotel industry", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Соколовский Александр Ярославович, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: afalcovsky@mail.ru

Sokolovsky Alexander, Senior Lecturer, Department of Transport Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Статья подана 17.04.2023

УДК 621.1

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ШНЕКОВОЙ СИСТЕМЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ БЫТОВЫХ ЦЕЛЕЙ

Нечаев Г. И., Чижевская Д. Ю., Никитин Ю. Н.

ANALYSIS OF THE POSSIBLE APPLICATION OF THE TRANSPORT SCREW SYSTEM IN THE ENERGY COMPLEX FOR THE PRODUCTION OF THERMAL AND ELECTRICAL ENERGY FOR HOUSEHOLD PURPOSES

Nechayev G. I., Chizhevskaya D. Yu., Nikitin Yu. N.

В работе рассмотрена возможность использования местных источников энергии для бытовых целей. На основании анализа существующих установок для сжигания твердых рассыпных топлив модернизирован топливный котел, использующий горизонтальную горелку объемного горения, рабочим органом которой является осевой шнек как с поворотной, так и с не поворотной ретортой. Решением данного вопроса является применение транспортной шнековой системы, состоящей из модернизированного бункера для топлива, ленточного шнека-ворошителя и мотор-редуктора. Предложены установки на базе модернизированного топливного котла, позволяющие генерировать газ для получения тепловой и электрической энергии.

Ключевые слова: уголь, пеллеты, бытовые отходы, топливный котел, транспортная шнековая система, газогенератор, установка.

Введение. На западных рынках энергоносителей действуют контрактные и спотовые цены, а это приводит к резкому возрастанию цен на газ, уголь, нефть, древесное топливо. Ценовой максимум фьючерсных контрактов на поставку газа в сентябре 2022 (по индексу TTF) составил 2186,3 доллара (+1%), минимум – 2072,1 доллара (–4,2%), а цена закрытия – 2121,3 доллара за тысячу кубометров (–2%). Цена на газ в России ежегодно возрастает, а это неминуемо приведет к тому, что потребителям в РФ придется платить за него по европейским ценам [1, 2].

С 10 июля 2022 года в страны ЕС прекращен экспорт древесной продукции, в частности, пеллет, брикетов и щепы. Россия поставляла в страны ЕС 3 млн тонн пеллет и брикетов [3, 4].

Ежегодные заготовки в России составляют 0,1 млрд м³, т.е. отходов получается не менее 40 млн м³ [5].

Несмотря на то, что Россия стала одним из мировых лидеров в области производства пеллет (и

производство продолжает расти на 20% в год), почти всю продукцию отправляют на экспорт: в самой России потребление составляет лишь около половины процента от всего объема выпускаемой продукции [6].

В связи с ростом цен на газ, уголь, нефть и прекращения в страны ЕС экспорта древесной продукции актуальным является энергетическое использование древесных отходов, непригодных для технологического применения, и продуктов глубокой переработки (пеллет), что будет способствовать увеличению доли использования биотоплива в топливно-энергетическом балансе России [6].

Для России и всего мира использование биотоплива в качестве энергоносителя является актуальной и перспективной задачей. Биотопливо и, в частности, пеллеты являются альтернативой природному органическому топливу. Основным преимуществом биологического топлива, к которым относятся пеллеты, является то, что, имея соизмеримую с органическим топливом теплоту сгорания, оно может постоянно возобновляться [7]. В связи с чем актуальным является развитие технологий использования местных, таких как уголь, и возобновляемых источников энергии, создание новых и совершенствование известных газогенераторных установок стационарного типа, работающих совместно с ДВС электростанции и котельной, с целью получения тепла [8, 9].

Целью исследования является анализ возможного применения различных типов газогенераторов для производства тепла, электроэнергии и бытового газа.

Изложение основных материалов. Основным топливом котлов модели KWP (рис. 1, а) является каменный уголь ассортимента «горошек», энергетический, промытый, тип 31, согласно норме PN-82/G-97001÷3 со следующими параметрами [10]:

Грануляция	8 ÷ 25 мм
Теплота сгорания	27000 кДж/кг
Температура плавления золы	>1150°C
содержание серы	≤ 0,6 %
содержание золы	≤ 7 %
содержание влаги	≤ 9 %

Котлы модели KWP для сжигания угля-горошка и пеллетного топлива используют горизонтальную горелку объемного горения, рабочим органом которой является осевой шнек как с поворотной, так и с неповоротной ретортой. Для котлов KWP, оснащённых горелкой с поворотной ретортой, можно использовать смесь угольной пыли и угля-горошка в пропорции 2:1.

Наибольший эффект использования таких котлов достигается в районах добычи угля или переработки древесины с последующим изготовлением пеллет (местные источники энергии).

Основные недостатки котлов модели KWP:

При длительном хранении (переходной период весна – осень) мелкие фракции (угольная пыль) подвержены воздействию влаги. Повышение влажности мелкой фракции может привести к потере качества – слеживаемости, сводообразованию, что в свою очередь вызывает затруднение перемещения самотеком из контейнера для хранения (бункера), повышает трудоемкость и продолжительность транспортировки шнековой транспортной системы, дестабилизирует процесс горения топлива [11].

Как известно при выполнении погрузочно-разгрузочных работ и транспортировании топлива важна их однородность по крупности [11].

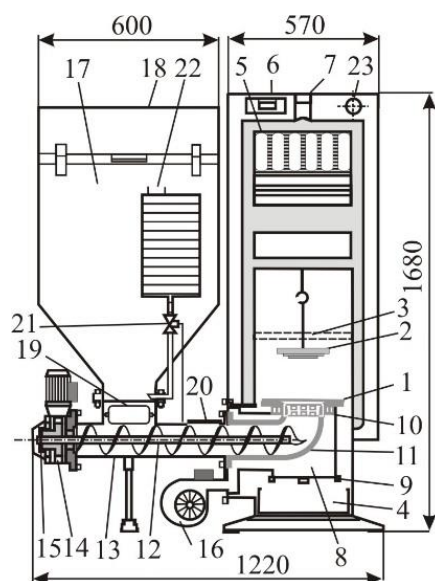
Неоднородность топлива влияет на время его выгорания – мелкие частицы (угольная пыль) выгорают быстрее при размере 0,5 мм примерно за

20 сек., а крупные размером 3 мм примерно за 140 с. При сжигании существенно большего количества мелких частиц топлива происходит процесс спекания с образованием корки, что осложняет дальнейший процесс сжигания топлива [12].

Истечение шихты самотеком не позволяет получить на выходе стабильный состав по крупности [13].

С целью минимизировать влияние этих недостатков котла модели KWP предложено техническое решение, которое заключается в использовании в качестве смесителя шнековую транспортную систему, состоящую из модернизированного бункера для топлива, ленточного шнека-ворошителя и мотор-редуктора (рис. 1, б).

Используя элементы котла модели KWP, комбинированный газогенератор [14] и шнековую транспортную систему, предложена установка с комбинированным газогенератором использующая горизонтальную горелку объемного горения с поворотной ретортой (рис. 1, в), позволяющая в качестве топлива для получения генераторного газа использовать уголь-горошек, смесь угольной пыли и угля-горошка в пропорции 2:1 и пеллеты [15]. Для этого эти виды топлива загружаются в бункер для топлива (рис 1, в позиция 17), а в топливный бункер (рис 1, в позиция 28) загружаются кусковое твердое топливо (бытовые отходы – древесина, бумага, полиэтилен и др.). При отсутствии отходов в топливный бункер (рис 1, в позиция 28) можно загружать уголь-горошек, пеллеты или биоуголь [16]. Такая установка позволит получать газ для автономного отопления и подачи горячей воды и для газовых печей.



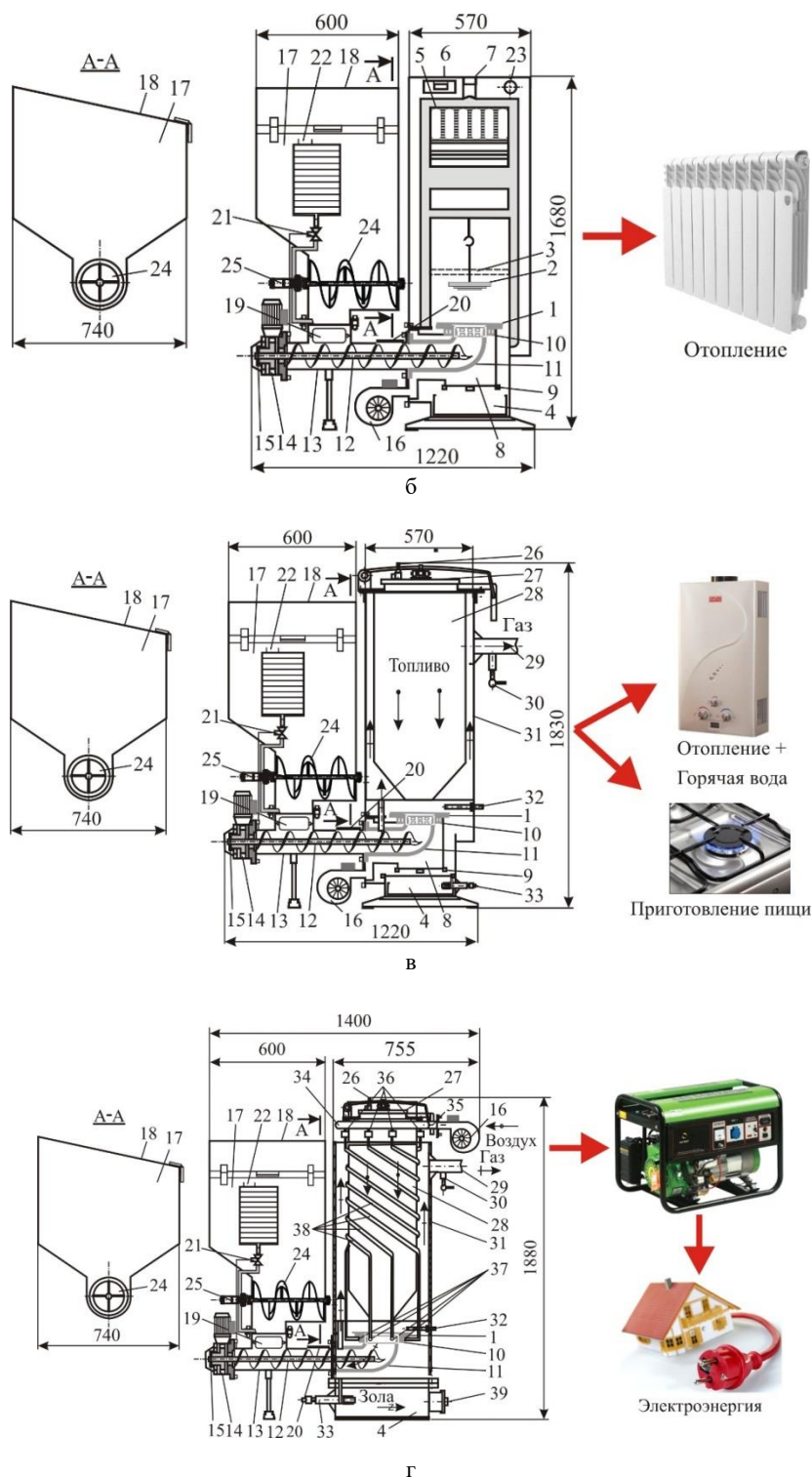


Рис. 1. Установки для обеспечения функционирования индивидуальных жилых домов:

а – котёл KWP M с горизонтальной горелкой, пеллетная горелка объемного горения с поворотной ретортой; б – модернизированный котёл KWP M с горизонтальной горелкой, пеллетная горелка объемного горения с поворотной ретортой; в – установка с комбинированным газогенератором, использующая горизонтальную горелку объемного горения с поворотной ретортой; г – установка с комбинированным параметрическим газогенератором, использующая горизонтальную горелку объемного горения с неповоротной ретортой: 1 – узел ретортной горелки; 2 – дефлектор; 3 – аварийная решётка; 4 – зольник; 5 – конвекционные каналы; 6 – регулятор; 7 – патрубок горячей воды; 8 – воздушная камера; 9 – воздушная заслонка; 10 – обод топки; 11 – корпус реторты; 12 – шнек механизма подачи; 13 – корпус горелки; 14 – мото-редуктор сплошного шнека; 15 – предохранитель перегрузок; 16 – вентилятор нагнетания; 17 – бункер для топлива; 18 – крышка бункера; 19 – отверстие для аварийной выгрузки топлива; 20 – датчик заливного клапана; 21 – заливной клапан; 22 – бак для воды; 23 – термоманометр; 24 – ленточный шнек; 25 – мотор-редуктор ленточного шнека; 26 – предохранительный клапан; 27 – крышка загрузочного бункера; 28 – топливный бункер для загрузки кускового твердого топлива; 29 – патрубок генераторного газа; 30 – прибор для измерения температуры; 31 – корпус газогенератора; 32 – керамический нагревательный элемент ТЕН; 33 – шуровочный механизм; 34 – воздушный коллектор; 35 – воздушный патрубок; 36 – электромагнитные клапаны; 37 – дутьевые фурмы; 38 – трубы; 39 – люк зольника

Используя элементы котла модели KWP, комбинированный параметрический газогенератор [17] и шнековую транспортную систему, предложена установка с комбинированным параметрическим газогенератором, использующая горизонтальную горелку объемного горения с неповоротной ретортой (рис. 1, г), позволяющая в качестве топлива для получения генераторного газа использовать уголь-горошек и пеллеты. Применение такого топлива обусловлено тем, что трубки, подающие воздух, жестко связаны дутьевыми фурмами, и поэтому используется неповоротная реторта. Комбинированный параметрический газогенератор в отличие от комбинированного газогенератора предполагает систему регулирования подачи генераторного газа в условиях изменения потребления его ДВС, и поэтому его эффективней использовать совместно с газогенераторами, вырабатывающими электроэнергию. Так же как комбинированный газогенератор, он имеет топливный бункер (рис. 1, г позиция 28), куда возможно загружать кусковое твердое топливо – бытовые отходы.

Выводы. 1. Определены основные недостатки топливных котлов, использующих горизонтальную горелку объемного горения, рабочим органом которой является осевой шнек как с поворотной, так и с неповоротной ретортой.

2. Модернизирован топливный котел, использующий горизонтальную горелку объемного горения, рабочим органом которой является осевой шнек как с поворотной, так и с неповоротной ретортой за счет применения транспортной шнековой системы, состоящей из модернизированного бункера для топлива, ленточного шнека-ворошителя и мотор-редуктора.

3. Разработана установка, использующая элементы котла модели KWP, комбинированный газогенератор и шнековую транспортную систему. Предложена установка с комбинированным газогенератором, использующая горизонтальную горелку объемного горения с поворотной ретортой, позволяющая в качестве топлива для получения генераторного газа использовать уголь-горошек, смесь угольной пыли и угля-горошка в пропорции 2:1 и пеллеты.

4. Разработана установка, использующая элементы котла модели KWP, комбинированный параметрический газогенератор и шнековую транспортную систему. Предложена установка с комбинированным параметрическим газогенератором, использующая горизонтальную горелку объемного горения с неповоротной ретортой, позволяющая в качестве топлива для получения генераторного газа использовать уголь-горошек и пеллеты.

Л и т е р а т у р а

1. Шестаков С.М. Технологии сжигания местных видов твердого топлива / С.М. Шестаков // Новости теплоснабжения. – 2013. – № 10. – С. 32-36.

2. Цены на газ в Европе опустились до 2120 долларов. 03 Августа 2022, 20:21 [электронный ресурс]. – <https://1prime.ru/gas/20220803/837692598.html>.

3. Экспорт, внутренний рынок или ориентация на восток – что выберут производители пеллет в 2022 году? Информационно аналитическое агентство «ИНФОБИО» журнал «МЕЖДУНАРОДНАЯ БИОЭНЕРГЕТИКА. 06 сентября 2022» [электронный ресурс]. – <https://www.infobio.ru/news/5281.html>.

4. Новый драйвер роста лесной отрасли. В России стартовало первое производство биоугля в промышленных объемах с недостижимой прежде рентабельностью ЛесПромИнформ. – № 6 (168). – 2022. – С. 17-19.

5. Канарейкин А. Время ставить на биотопливо. Энергетика и промышленность России. – № 11 (271). – июнь 2015 г. – С. 22.

6. Кармакова М. Внутренний рынок пеллет: сложно, но можно (и нужно). Лесной комплекс. – №3 (55) – май-июнь 2022 г. – С. 58-66 www.forestcomplex.ru.

7. Назаров В.И. Комплексные теплофизические исследования топливных гранул на основе растительных и древесных отходов и техногенного сырья / В.И. Назаров, Д.А. Макаренков, Я.А. Мавлюдова // Кокс и химия. – 2018. – № 6. – С. 43-48.

8. Зубакин А.С., Киприянов Ф.А. Обзор основных технических средств для получения генераторного газа // Universum: технические науки. 2017. №2 (35). С. 89-91 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-osnovnyh-tehnicheskikh-sredstv-dlya-polucheniya-generatornogo-gaza>.

9. Чувашев В.Н., Ипатов С.Ф. Применение газогенераторных установок в сельскохозяйственном производстве // Техника и технологии в животноводстве. – 2017. – № 4 (28). – С. 88-91 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-gazogeneratornyh-ustanovok-v-selskohozyaystvennom-proizvodstve>.

10. Руководство по эксплуатации и монтажу. [электронный ресурс]. – <http://galmet.by/wp-content/uploads/2018/07/Instruktsiya-Avtomaticheskie-kotly-EKO-KWP-KWPD.pdf>

11. Грузоведение: учебное пособие к изучению курса / сост. Н.В. Власова. – Иркутск : ИрГУПС, 2017. – 156 с.

12. Мных А.С., Яковлева И.Г., Пазюк М.Ю. К вопросу оптимизации подготовки твердого топлива к тепловой обработке агломерационной шихты // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015. – №10 (141) – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-optimizatsii-podgotovki-tverdogo-topliva-k-teplovoy-obrabotke-aglomeratsionnoy-shihty>.

13. Харченко А.С. Закономерности поступления компонентов шихты по крупности из бункера БЗУ в колошниковое пространство печи в зависимости от условий загрузки // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2018. – № 3. – С. 46 – 56. [электронный ресурс]. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zakonovernosti-postupleniya-komponentov-shihty-po-krupnosti-iz-bunkera-bzu-v-koloshnikovoe-prostranstvo-pechi-v-zavisimosti-ot-usloviy> (дата обращения: 13.10.2022).

14. Губачева Л.А. Совершенствование автомобильного газогенератора, газифицирующего биомассу и отходы полиэтилена / Л.А. Губачева, Д.Ю. Чижевская, А.А. Андреев, // Технический журнал «АвтоГазоЗаправочный Комплекс+Альтернативное Топливо». – 2020. – № 5. – С. 230-237.

15. Шевченко, Д.Ю. Физико-механические свойства пеллетного топлива из лузги подсолнечника / Д.Ю. Шевченко, Губачева Л. А., Андреев А. А. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2012. – № 4 (175). – С. 75-82.

16. Новый драйвер роста лесной отрасли. В России стартовало первое производство биоугля в промышленных объемах с недостижимой прежде рентабельностью. ЛесПромИнформ. – 2022. – № 6 (168). – С. 17-19.

17. Нечаев Г.И. Совершенствование газогенератора, вырабатывающего газообразное топливо для ДВС / Г.И. Нечаев, Д.Ю. Чижевская, Ю.Н. Никитин, Л.Я. Будиков // Вестник Луганского государственного университета им. В. Даля. – 2022. – № 7 (61). – С. 111-116.

Nechayev G.I., Chizhevskaya D.Yu., Nikitin Yu.N.
ANALYSIS OF THE POSSIBLE APPLICATION OF THE TRANSPORT SCREW SYSTEM IN THE ENERGY COMPLEX FOR THE PRODUCTION OF THERMAL AND ELECTRICAL ENERGY FOR HOUSEHOLD PURPOSES

The paper considers the possibility of using local energy sources for domestic purposes. Based on the analysis of existing installations for burning solid loose fuels, a fuel boiler was modernized using a horizontal volumetric combustion burner, the working body of which is an axial screw, both with a rotary and non-rotary retort. The solution to this issue is the use of a transport auger system consisting of a modernized fuel hopper, a belt auger-turner and a gear motor. Installations based on a modernized fuel boiler are proposed, which allow generating gas for heat and electricity.

Key words: coal, pellets, household waste, fuel boiler, transport auger system, gas generator, plant.

Нечаев Григорий Иванович, д.т.н., профессор кафедры транспортных технологий, ФГБОУ ВО

«Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: logistikatt@mail.ru

Nechayev Grigoriy, Doctor of Technical Sciences (Engineering), Professor of the Department «Transport Technologies» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Чижевская Дарья Юрьевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: shevchenkodu@mail.ru

Chizhevskaya Darya, Cand. Sci. (Eng.), Docent of the Transport Technologies Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Никитин Юрий Николаевич, к.т.н., доцент кафедры «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: shevchenkodu@mail.ru

Nikitin Yuri, Candidate of Technical Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department «Transport Technologies» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Статья подана 28.04.2023

УДК 621.824.6

МОДЕЛЬ РАСЧЁТА МНОГОСЛОЙНЫХ ВАЛОВ

Овилко А. М., Литвинов А. В., Токменцов В. А., Ульченко В. Д., Руденко Е. П.

CALCULATION MODEL FOR MULTILAYER SHAFTS

Ovilko A. M., Litvinov A. V., Tokmentsov V. A., Ulchenko V. D., Rudenko E. P.

Статья посвящена актуальной задаче проектирования нового оборудования для легкой промышленности. Выделены не решённые ранее проблемы и рассмотрены собственные частоты многослойного вала в зависимости от расположения опор, которые можно рекомендовать при конструировании валов швейных машин.

Ключевые слова: вибрация, многослойный вал, опора, оптимизация, собственная частота.

Введение. Нерешёнными и весьма актуальными вопросами являются задачи снижения вибраций на уровне эксплуатации путем выбора правильных режимов наладки оборудования. Одним из ведущих источников вибрации в швейном оборудовании являются валы. Несмотря на достаточную разработанность методов расчета валов, в том числе их вибрационных характеристик, современные схемы машин в литературе почти не рассматривались, методы их расчетов разработаны недостаточно.

Анализ последних исследований и публикаций. Одним из приоритетных направлений развития швейного машиностроения является повышение производительности труда на основе

объединения операций и перехода на структурную многофункциональность. Принимая во внимание достаточно строгие требования к компоновке многих механизмов, часто в корпусе ограниченного размера валы располагаются внутри друг друга [1, 3]. Принимая во внимание расширение функциональности данного вида оборудования, можно предположить появление многослойных валов, расположенных вдоль одной оси. При этом возникает проблема оптимального расположения опор таких валов и формирования принципов оптимизации для проектирования. Традиционно валы проектируются из принципов прочности, жесткости и виброустойчивости [2, 3]. Для многослойных валов практически отсутствуют рекомендации по определению параметров виброустойчивости.

Цель исследования. Решение задачи оптимального расположения опор многослойных валов исходя из критерия минимизации вибраций.

Материалы и результаты исследования. Учитывая, что каждый элемент имеет свою массу, расчетная схема многослойного вала может быть представлена в виде схемы (рис. 1).

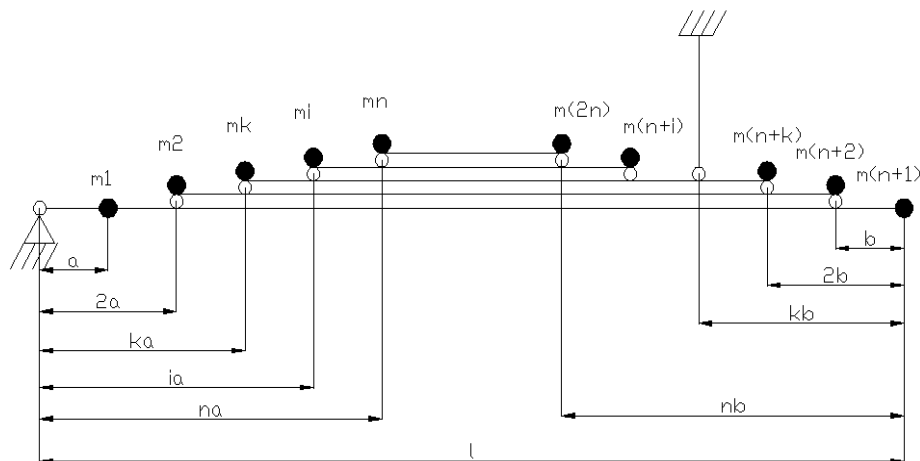


Рис. 1. Модель многослойного вала

Левую опору будем считать фиксированной и обозначим ее номером 1, положение второй будем менять и искать ее оптимальное расположение. В первом приближении будем считать все массы одинаковыми, размеры $a = b$, расстояние между последними внутренними массами (с номерами n и $2n$) обозначим через $m \cdot a$, то есть:

$$l = a \cdot (2n + m). \quad (1)$$

Расстояние между опорами найдем как $a(2n + m - k)$. Будем определять вклад каждой массы в динамические характеристики многослойного вала. Для единичной массы с номером i и значение реакций в опорах будут определяться формулами:

$$R1 = \begin{cases} \frac{n+m-i}{2n+m-k}, i \leq n \\ -\frac{n+k+1-i}{2n+m-k}, n < i \leq n+k, \\ \frac{i-k-n}{2n+m-k}, i > n+k \end{cases} \quad (2)$$

$$R2 = \begin{cases} \frac{i}{2n+m-k}, i \leq n \\ \frac{3n+m}{2n+m-k}, n < i \leq n+k \\ \frac{3n+m-i}{2n+m-k}, i > n+k. \end{cases}$$

Зная реакцию в левой опоре, нетрудно найти внутренние реакции. Так, для внутреннего вала расчетная схема может выглядеть (рис. 2).



Рис. 2. Схема внутреннего вала

На рисунке символами в фигурных скобках $\{1\}$ показаны возможные единичные усилия от сосредоточенных масс. Логично выделение на валу четырех участков. Для произвольного вала, таким образом, уже будут признаны реакции, действующие снизу.

Для реакций, действующих сверху, соответственно можно найти выражения:

$$R_{i+1,1} = \frac{R_{i,1}(2n+m-2i) - R_{i,2}}{2n+m-2i-1} + \{1\}, \quad (3)$$

$$R_{i,2} = \frac{R_{i,2}(2n+m-2i) - R_{i,1}}{2n+m-2i-1} + \{1\}.$$

Реакции в промежуточных опорах многослойных валов можно найти по рекуррентным формулам, используя значения реакций в предыдущих валах. На промежуточных валах можно выделить четыре участка (рис. 3).

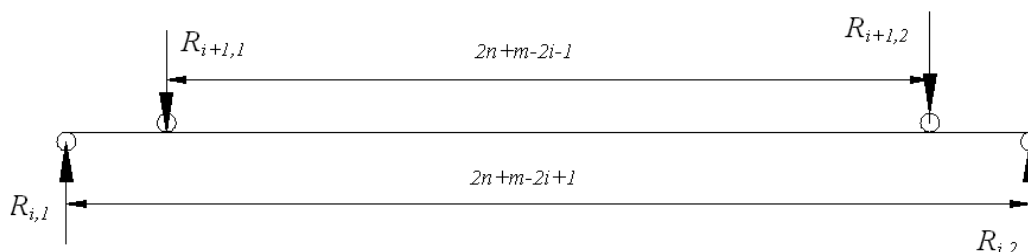


Рис. 3. Схема промежуточного вала

Вернемся к внутреннему валу, который имеет наименьшую жесткость и поэтому наиболее благоприятный для внешних усилий. Зная реакции в левой опоре, реакции в опорах, связывающих его со вторым валом, можно найти перемещение какой-либо точки вала от действия силы, приложенной в какой-либо точке. Это перемещение будет состоять от суммы перемещений, определенных для каждой из четырех участков вала.

Будем определять перемещения точки с номером i от действия массы, приложенной в точке с номером j ($1 \leq i \leq 2n, 1 \leq j \leq 2n$).

Для первого участка

$$\delta 1_{ij} = \frac{1}{3} R1_i \cdot R1_j. \quad (4)$$

Для второго участка

$$\delta 2_{ij} = \begin{cases} \frac{7}{3} R1_i \cdot R1_j, i \neq 1, j \neq i \\ \frac{7}{3} (R1_i - 1) \cdot R1_j + \frac{3}{2} R1_j, i = 1, j \neq i \\ \frac{7}{3} (R1_i - 1)^2 + 3 \cdot R1 + 1, i = 1, j = 1. \end{cases} \quad (5)$$

Для третьего участка

$$\delta 3_{ij} = \begin{cases} 0, i \neq n+1 \\ -\frac{1}{3}, i = n+1, j = i. \end{cases} \quad (6)$$

Для четвертого участка

$$\delta 4_{ij} = \begin{cases} \frac{4}{3} (2n + m - 3) \cdot R1_i \cdot R1_j, i \neq 1, i \neq n, j \neq i \\ \frac{1}{3} (2n + m - 3) \cdot (2R1_i - 1) \cdot R1_j, i = 1, j \neq i, j \neq n \\ \frac{1}{3} (2n + m - 3) \cdot (2R1_i - 1)^2, i = 1, j = 1 \\ \frac{2}{3} (2n + m - 3)^2 \cdot \left(\frac{2R1_i - 1}{2n + m - 3} - 1 \right) \cdot R1_j - (2n + m - 3) \cdot R1_j, \\ i \neq 1, j = n \\ \frac{2}{3} (2n + m - 3)^2 \cdot \left(\frac{2R1_i - 1}{2n + m - 3} - 1 \right) \cdot (2R1_i - 1) - (2n + m - 3) \cdot R1_i, \\ i = 1, j = n \\ \frac{1}{3} (2n + m - 3)^3 \cdot \left(\frac{2R1_i - 1}{2n + m - 3} - 1 \right)^2 \cdot R1_j - (2n + m - 3)^2 \left(\frac{2R1_i - 1}{2n + m - 3} - 1 \right) + \\ (2n + m - 3), \\ i = n, j = n. \end{cases} \quad (7)$$

Суммарное перемещение точки с номером i от единичной нагрузки, приложенной в точке с номером j :

$$\delta_{ij} = \delta 1_{ij} + \delta 2_{ij} + \delta 3_{ij} + \delta 4_{ij}. \quad (8)$$

Для единичных параметров жесткости и массы собственные частоты могут быть найдены путем решения определителя:

$$\begin{vmatrix} \delta_{11}\omega^2 - 1 & \delta_{12}\omega^2 & \dots & \delta_{1,2n}\omega^2 \\ \delta_{21}\omega^2 & \delta_{22}\omega^2 - 1 & \dots & \delta_{2,2n}\omega^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{2n,1}\omega^2 & \delta_{2n,2}\omega^2 & \dots & \delta_{2n,2n}\omega^2 - 1 \end{vmatrix} = 0. \quad (9)$$

Для многослойных валов с числом слоев более двух подобная задача достаточно сложная. Воспользуемся методом Ритца для

приблизительного определения собственных частот колебания внутреннего вала:

$$\omega^2 = g \frac{\sum \delta \cdot m}{\sum \delta^2 \cdot m}. \quad (10)$$

С точностью до ускорения собственного падения:

$$\varpi = \frac{\sum \delta}{\sum \delta^2}. \quad (11)$$

Проведенные расчеты для вала с четырьмя слоями показали следующие результаты (табл. 1).

На рис. 4 показаны зависимости собственных частот многослойного вала в зависимости от расположения второй опоры. Таблица и графики демонстрируют достаточно ярко выраженный максимум собственных частот, который можно рекомендовать при конструировании многослойного вала.

Таблица 1

	m=2	m=3	m=4	m=5	m=6
k=1	0,717983	0,613107	0,53	0,463789	0,41
k=2	0,721665	0,616604	0,53301	0,465296	0,411704
k=3	0,723602	0,615467	0,53376	0,466798	0,413038
k=4	0,721665	0,618951	0,53376	0,468828	0,414126
k=5	0,719792	0,615467	0,535257	0,466798	0,414126
k=6	0,705337	0,607454	0,528488	0,465725	0,413401
k=7	0,669627	0,585235	0,520577	0,461736	0,411339

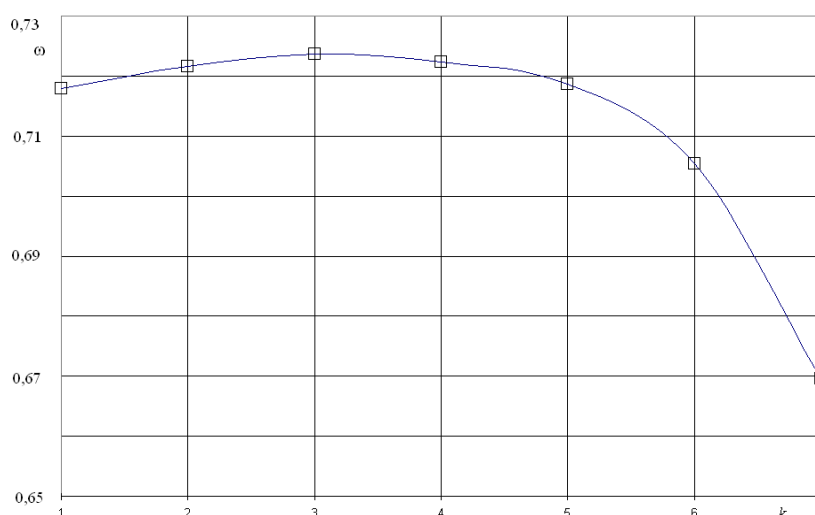


Рис. 4. Зависимость собственной частоты от расположения опор

Выводы. В качестве критерия оптимизации многослойного вала обосновали собственную частоту его колебаний, в качестве параметра, что подлежит оптимизации, – расположения опор. Доказано, что существующее расположение опор определяет максимум собственных частот колебаний, определяющий рекомендации для его конструирования.

Л и т е р а т у р а

1. Франц В.Я. Оборудование швейного производства. – М.: Издательский центр «Академия». – 2002. – 448 с.
2. Рябчиков М.Л., Пащенко А.М. Повышение нагрузочной способности зубчатых передач методами гидродинамической регулировки несущими валами // Вестник национального технического университета «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2004. – № 44. – С. 56-61.
3. Мокшина О.В., Изотова К.О. Вариация параметров качества в зависимости от уровня вибраций швейного оборудования // Восточноευропейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 1/4. – С. 43-45.

**Ovilko A.M., Litvinov A.V., Tokmentsov V.A.,
Ulchenko V.D., Rudenko E.P.**

CALCULATION MODEL FOR MULTILAYER SHAFTS

The article is devoted to the actual problem of designing new equipment for light industry. Previously unsolved

problems are highlighted and the natural frequencies of a multilayer shaft are considered depending on the location of the supports, which can be recommended when designing sewing machine shafts.

Key words: vibration, multilayer shaft, support, optimization, natural frequency.

Овилко Артем Михайлович, магистр группы ТЛЗ-1а11м, кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Ovilko Artem, Master of the TLZ-1a11m group, Department of Railway Transport of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Литвинов Алексей Викторович, магистр группы ТЛЗ-1а11м, кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Litvinov Alexey, Master of the TLZ-1a11m group, Department of Railway Transport of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Токменцов Владимир Анатольевич, магистр группы ТЛЗ-1а11м, кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Tokmentsov Vladimir, Master of the TLz-1a11m group, Department of Railway Transport of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Ульченко Вилен Дмитриевич, магистр группы ТЛ-1a21м, кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Ulchenko Vilen, Master of the TL-1a21m group, Department of Railway Transport, of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Руденко Екатерина Петровна, магистр группы ТЛз-1a21м, кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Rudenko Ekaterina, Master of the TLz-1a21m group, Department of Railway Transport, of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 18.05.2023

УДК 621.926

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

Рябичев В. Д., Ленич С. В.

METHODS OF CONDUCTING EXPERIMENTS IN A PNEUMATIC TRANSPORT MILL

Ryabichev V. D., Lenich S. V.

В статье описана методика экспериментального исследования измельчения угля в пневмотранспортной измельчительной установке, включающая: анализ исследуемых факторов, влияющих на эффективность измельчения от конструктивных и технологических параметров установки, описание экспериментальной установки, принципа её работы и порядка проведения опытов.

Ключевые слова: измельчение, пневмотранспорт, мельница, пылеприготовление, уголь, эксперимент.

Введение. В связи с ограниченными на территории Донбасса запасами нефти и газа необходимость увеличения доли использования угля в топливно-энергетическом балансе региона очевидна.

В связи с недостаточными капитальными вложениями в строительство новых энергоблоков перспективными считаются их реконструкция, модернизация и совершенствование оборудования и технологий сжигания угля на тепловых электростанциях (ТЭС) с традиционными котельными установками. Но прежде всего необходима модернизация систем пылеприготовления, подающих угольную пыль к горелкам котлов.

Эффективность использования угля при факельном сжигании зависит от тонкости его помола, что в свою очередь ведёт к дополнительным затратам энергии мельниц в традиционных системах пылеприготовления.

Таким образом, создание более эффективных и менее энергоёмких способов и технологий измельчения представляет собой весьма важную, актуальную научно-производственную и техническую задачу.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время во многих процессах использования углей для сжигания широко применяется пылевидный уголь [1]. На большинстве тепловых электростанций Донбасса преимущественно применяется энергетический

уголь марок Т и А. Разведанные запасы антрацита в регионе составляют около 6 млрд т, т.е. имеются все предпосылки для ограничения использования дорогостоящих ресурсов, особенно нефти и газа [2].

Технология приготовления угольной пыли предусматривает измельчение угля в специальных шаровых барабанных мельницах. Однако данные мельницы обладают рядом серьёзных недостатков. Частицы материала в ШБМ измельчаются раздавливанием-истиранием от качения шаров и ударом от их падения. Но даже самая прочная сталь в этих жесточайших условиях истирается, и в результате при измельчении тонны сырья расходуется в среднем около килограмма металла. К тому же эти мельницы громоздки и имеют низкий КПД.

Анализ мирового развития тонкого измельчения показывает, что наиболее эффективными являются измельчители ударного действия [3-8]. Это прежде всего мельницы, основанные на пневматических методах: пневматические, струйные (газоструйные), струйно-роторные и др. При этом разрушение частиц осуществляется за счёт высокоскоростного удара о размольную плиту или друг с другом.

Для создания экономичного способа приготовления угольной пыли нами предлагается осуществлять измельчение угля в процессе его пневмотранспорта. Измельчение осуществляется путём удара о специальные отбойные элементы, установленные в коленах пневмотранспортных трубопроводов [9, 10]. При этом измельчение частиц материала, обычно относимое к недостаткам пневмотранспорта, в данном случае играет положительную роль.

Путь непрерывного движения материала в предлагаемом устройстве во много раз больше, чем у существующих пневматических мельниц. Степень измельчения регулируется скоростью потока и числом колен. Предлагаемое устройство конструктивно чрезвычайно просто и позволяет

совместить процессы пневмотранспорта и измельчения материала.

Данный способ измельчения может быть реализован путём вставки измельчительных участков в линейную часть трубопроводов, транспортирующих уголь.

Постановка задач экспериментального исследования. Использование пневмотранспортных измельчительных установок ведёт к дополнительному сопротивлению в трубопроводах (вследствие увеличения скорости потока, наличия дополнительных колен и т.д.) и, как следствие, к дополнительным затратам энергии. Однако при правильном сочетании конструктивных и технологических параметров установки энергозатраты могут быть сведены к минимуму.

В данной публикации приводится методика экспериментального исследования измельчения угля в пневмотранспортной измельчительной установке, включающая:

– анализ исследуемых факторов, влияющих на эффективность измельчения от конструктивных и технологических параметров установки;

– описание экспериментальной установки, принципа её работы и порядка проведения опытов.

Исследуемые факторы и пределы их изменения. В работе [11] приводится полученная зависимость прироста поверхности измельчаемых частиц сыпучего материала при ударе о жёсткое препятствие:

$$\Delta S = \frac{d^3}{2 \cdot k_r} \cdot \left[\frac{\rho \cdot V^2}{g} (1 - \sin^2 \alpha - k_g^2 \cdot \cos^2 \alpha) - \frac{\sigma_p}{E} \right], \quad (1)$$

где d – средний размер частицы до измельчения, м;
 k_r – эмпирический коэффициент, представляющий собой удельную работу на образование единицы новой поверхности, Дж/м²;

ρ – удельный вес частицы, Н/м³.

V – скорость частицы в момент удара, м/с;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²;

k_g – коэффициент восстановления при ударе, зависящий от формы и физико-механических свойств измельчаемого материала и препятствия, $0 < k_g < 1$;

α – угол между нормалью к поверхности препятствия и направлением движения частиц («угол атаки»);

σ_p – предел прочности измельчаемого материала, Па;

E – модуль Юнга, Па.

Как видно из зависимости (1), на прирост поверхности ΔS при измельчении частиц материала оказывают влияние:

1. Физико-механические свойства материала.

2. «Угол атаки» частицы при ударе о стенку колена трубопровода, α .

3. Скорость частицы в момент удара о стенку колена трубопровода V .

4. Первоначальный размер частицы, d .

К основным параметрам пневмотранспортной измельчительной установки, влияющим на процесс измельчения угля, относятся:

1. Конструктивные параметры: угол поворота колена трубопровода δ , количество колен n_k , длина участка разгона частиц l_p , диаметр трубопровода D .

2. Технологические параметры: массовая концентрация аэросмеси μ , скорость движения аэросмеси V , начальное давление и расход воздуха создаваемые компрессором, степень измельчения материала i .

Физико-механические свойства антрацита в процессе проведения экспериментальных исследований принимались постоянными.

«Угол атаки» частицы α зависит от угла поворота колена трубопровода δ . α изменяется от 0 до 90°, однако установлено [8], что при $\alpha > 30^\circ$ основная часть кинетической энергии частицы расходуется не на измельчение, а на работу сил трения о поверхность стенки трубопровода. Таким образом, в опытах предел изменения «угла атаки» частиц α составлял 0...30°, что соответствует углам поворота колена $\delta = 90...60^\circ$.

Скорость частицы V в момент удара о стенку колена составляет [12] 98-99% скорости воздуха V_g в трубопроводе и зависит от диаметра трубопровода, начального давления и расхода воздуха, создаваемого компрессором. Разгонная труба и колена в опытах представляют собой квадратный профиль 26×26 мм (внутренний размер) и с учётом максимальной производительности поршневого компрессора – 5 м³/мин позволяют развить скорость воздуха V_g до 100 м/с.

Пневмотранспортная установка в опытах имела одно колено ($n_k = 1$), что позволяло определять степень и характер измельчения частиц после каждого удара.

Прирост поверхности ΔS и степень измельчения i будут зависеть от первоначального размера частиц d . Верхний предел соответствует максимальному размеру частиц угля АШ (преимущественно поступающего на ТЭС) – 6 мм, а нижний – 90 мкм, т.к. тонина помола при измельчении антрацита в существующих факельных топках характеризуется остатком на сите R_{90} . Таким образом, пределы изменения размеров частиц $d = 0,09...6$ мм.

Длина участка разгона частиц l_p равна, м [13]:

$$l_p = \frac{(V - V_n)^2 \cdot d \cdot \rho}{2 \cdot C \cdot \rho_g \cdot V_g^2 \cdot g}, \quad (2)$$

где V , V_n – соответственно конечная и начальная скорость частицы, м/с;

C – коэффициент лобового сопротивления частицы, зависящий от формы тела, согласно [14] для частиц, близких к кубообразной форме $C = 1,28$;

ρ_g – плотность воздуха, кг/м³;

V_g – скорость воздуха в трубопроводе, м/с.

Минимальная длина участка разгона l_p определялась для частиц максимального размера, используемых в опытах $d = 6$ мм, и для нормальных условий составила:

$$l_p = \frac{(98-0)^2 \cdot 0,006 \cdot 14715}{2 \cdot 1,28 \cdot 1,3 \cdot 100^2 \cdot 9,81} = 2,6 \text{ м.}$$

Для частиц меньшего размера участок разгона l_p будет короче и не требует расчёта.

Массовая концентрация μ в традиционных системах пылеприготовления в зависимости от участка транспортирования находится в пределах от 0,5 до 2 кг/кг [12, 14, 15].

Таким образом, чтобы выявить основные закономерности измельчения антрацита при пневмотранспорте достаточно определить влияние наиболее значимых факторов: угла атаки частиц α , скорости частицы V в момент удара о стенку,

начального размера частиц d и массовой концентрации аэросмеси μ .

Пределы изменения исследуемых факторов: $\alpha = 0 \dots 30^\circ$; $V = 50 \dots 100$ м/с; $d = 0,09 \dots 6$ мм и $\mu = 0,5 \dots 2$ кг/кг.

Экспериментальная установка и порядок проведения опытов. Для определения закономерностей измельчения антрацита в пневмотранспортной измельчительной установке использовался экспериментальный опытный стенд, построенный на территории АДИ "ДонНТУ". Экспериментальная установка была создана на базе имеющейся пневмотранспортной системы, при этом была использована линейная часть трубопровода от поршневого компрессора до бункера.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1, общий вид – на рис. 2.

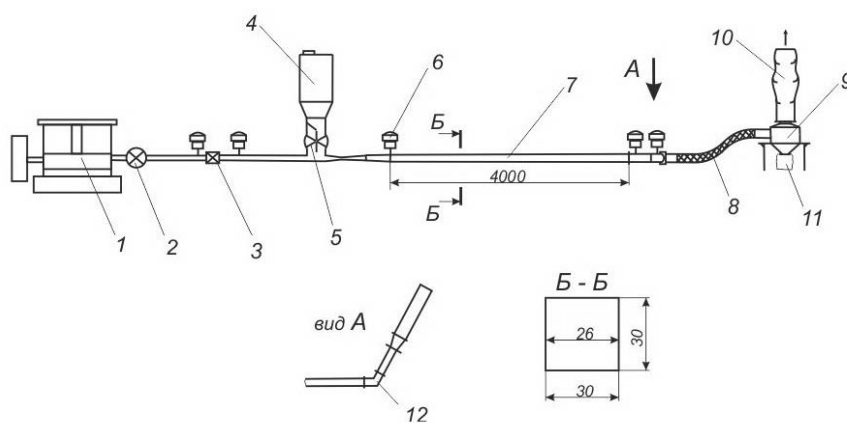


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – компрессор поршневой; 2 – клапан входной; 3 – расходомер турбинный; 4 – бункер; 5 – питатель секторный; 6 – датчики давления; 7 – разгонный участок (трубопровод квадратного профиля); 8 – соединительный шланг резиновый; 9 – циклон; 10 – фильтр тканевый; 11 – приёмный мешок (для выгрузки материала); 12 – колено

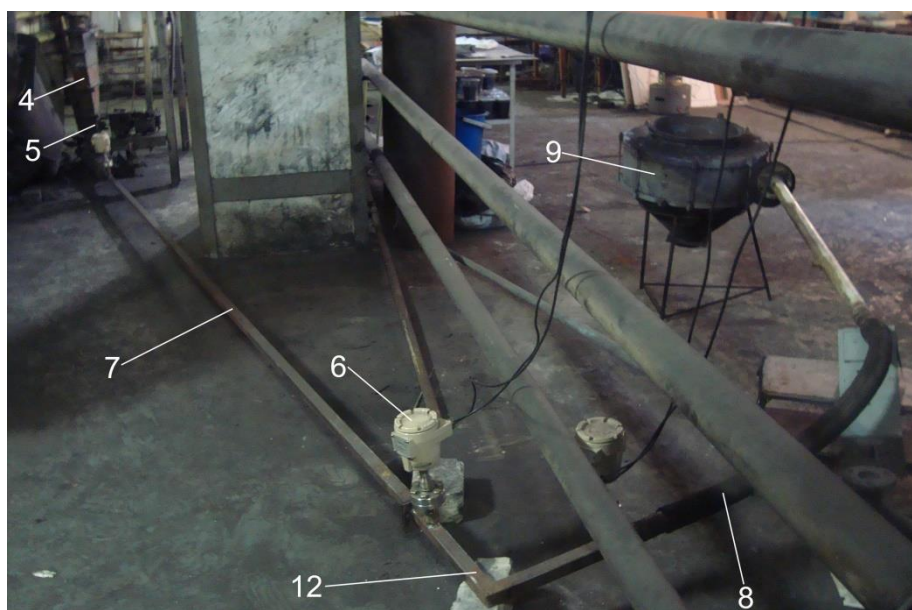


Рис. 2. Экспериментальная пневмотранспортная измельчительная установка (позиции см. рис. 1)

В комплект стенда входит поршневой компрессор производительностью 5 м³/мин при давлении на выходе до 0,6 МПа и воздухохранилище объемом 8 м³.

Для подачи угля в пневмотранспортный трубопровод разработан малогабаритный бункер объемом 15 л и секторный питатель с горизонтальной осью вращения, состоящий из 6-ти отсеков. За один полный оборот питателя обеспечивалась выгрузка – 1,1 кг антрацита. Вал питателя приводился в движение редукторным приводом, позволяющим изменять число оборотов выходного вала от 1 до 60 оборотов в минуту.

Разгонный участок после питателя представляет собой трубопровод квадратного профиля с внутренним размером 26×26 мм, соединяемый с коленом, выполненным из аналогичного профиля с остроугольными кромками. Предусмотрена замена колен, при проведении опытов использованы колена с углом поворота 90, 75 и 60°. Трубопровод после колена (во избежание дополнительного измельчения угля) соединяется с входной трубой циклона при помощи резинового шланга.

Для отделения угольной пыли от воздуха изготовлен лабораторный циклон. Воздухоочистка осуществляется через тканевый фильтр, материал выгружался в герметичный приёмный мешок в нижней части циклона.

Для определения объёмного расхода воздуха (при рабочих условиях) использован турбинный расходомер-счётчик «ТУРГАС 400» в комплекте с электронным блоком БИР-3. Погрешность измерений – не выше 1,5%.

Пневмотранспортная установка оснащена 5-ю датчиками МТ-100, регистрирующими следующие параметры:

- избыточное статическое давление в трубопроводе перед расходомером-счётчиком «ТУРГАС 400»;

- избыточное статическое давление в трубопроводе после расходомера-счётчика «ТУРГАС 400»;

- избыточное статическое давление в трубопроводе в начале разгонного участка после питателя;

- избыточное статическое давление в трубопроводе перед коленом;

- избыточное статическое давление в трубопроводе после колена.

Датчики давления МТ-100 предназначены для непрерывного пропорционального преобразование давления жидкостей и газов в унифицированный токовый выходной сигнал. Выходной сигнал от датчиков преобразовывался на нагрузочных резисторах, установленных в блоке питания, в напряжение, пропорциональное току. Верхний предел измерений – 4 атм, погрешность измерений – в пределах 1%.

Для сбора и обработки токового сигнала от расходомера-счётчика «ТУРГАС 400» служит БИР-3 – электронный блок со счётчиком, микроамперметром и выходным сигналом постоянного тока. Частотно-импульсный сигнал от расходомера-счётчика поступает на вход БИР-3, усиливается (формируется в сигнал прямоугольной формы), подаётся в счётный механизм и преобразуется в постоянный ток.

Время оборота осевого вала секторного питателя фиксировалось при помощи электрического контакта, периодически замыкающегося (при каждом обороте вала) с помощью кулачкового устройства, установленного на муфте выходного вала редуктора (привода). Сигнал преобразовывался и служил отметчиком каждого оборота секторного питателя.

Для преобразования аналогового сигнала в цифровую форму служит аналого-цифровой преобразователь – плата L-154, устанавливаемая в системный блок компьютера. Сигналы от блока питания датчиков, электрического контакта на приводе питателя и блока БИР-3 подаются на входные каналы аналого-цифрового преобразователя. Плата L-154 является быстродействующим 16-канальным устройством, предназначенным для ввода и вывода аналоговой и цифровой информации в персональных совместимых компьютерах.

Установленное программное обеспечение (управляющая программа) позволяло в течение проведения опыта контролировать (в режиме реального времени) и записывать показания регистрирующей аппаратуры.

Для регистрации показаний приборов использовались следующие каналы:

- Канал № 1 – датчик давления перед расходомером.

- Канал № 2 – датчик давления после расходомера.

- Канал № 3 – датчик давления в начале разгонного участка.

- Канал № 4 – датчик давления перед коленом.

- Канал № 5 – датчик давления после колена.

- Канал № 6 – мгновенный расход сжатого воздуха, проходящий через преобразователь расходомера-счётчика «ТУРГАС 400».

- Канал № 7 – счётчик количества объёма сжатого воздуха, прошедшего через преобразователь расходомера-счётчика «ТУРГАС 400».

- Канал № 8 – счётчик числа оборотов осевого вала секторного питателя.

При проведении опытов использовался следующий порядок действий.

Предварительно взвешенная порция угля с частицами узкой гранулометрии засыпалась в бункер. После продувки системы чистым воздухом и открытия управляющей программы для АЦП

(запуск регистрации и записи на жёсткий диск регистрируемых параметров) производилась загрузка угля в транспортный трубопровод. По окончании разгрузки бункера, определяемой по кривым на графиках, выключался привод питателя и компрессор, а из приёмного мешка циклона бралась порция измельчённого материала.

В экспериментах с несколькими последовательными ударами оставшийся уголь засыпался в бункер для последующих опытов (циклов измельчения). После каждого опыта проводился ситовый анализ и определялся гранулометрический состав измельчённого угля.

Выводы: 1. В результате анализа выявлены наиболее значимые конструктивные и технологические параметры, влияющие на процесс измельчения в пневмотранспортной измельчительной установке.

2. Определены необходимые пределы изменения основных факторов, что послужило основой для создания экспериментальной установки и разработки методики проведения эксперимента.

Л и т е р а т у р а

- Осипов А.М., Шендрик Т.Г., Попов А.Ф., Гришук С.В. Перспективные методы производства беззольного угля из энергетических углей (Обзор) // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – № 2. – С. 3-7.
- Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Топал А.И. Современное состояние развития чистых угольных технологий в энергетике // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – № 4. – С. 80-88.
- Гуямджян П.П. Интенсификация процессов тонкого измельчения, механической активации твёрдых материалов с разработкой высокоэффективных машин и технологий для переработки отходов промышленности: дис. ... докт. техн. наук. – Иваново: ИСХИ, 1989. – 406 с.
- Дмитриева Л.А. Исследование процесса измельчения хрупких материалов: дис. ... канд. техн. наук. – Иваново: ИГАСУ, 2006. – 165 с.
- Земсков Е.П., Зайцев А.И., Васильев В.А., Локшобанов Э.Г. Теоретическое исследование процесса высокодисперсного ударного разрушения одиночной частицы // Интенсивная механическая технология сыпучих материалов: межвуз. сб. научн. тр. – Иваново: ИХТИ, 1990. – С. 38-42.
- Белов Н.Н., Югов Н.Т., Копаница Д.Г., Югов А.А. Динамика высокоскоростного удара и сопутствующие физические явления. – Томск: STT, 2005. – 360 с.
- Peter M. Silverberg, Stephan Miranda Sharon, Yaeger Hosokawa. Homing in on the best size reduction method // Micron Powder System. Chemical Engineering. – November, 1998. – Vol. 105, № 12. – P. 102.
- Ходаков Г.С. Физика измельчения. – М. «Наука», 1972. – 307 с.
- Патент 44274 Україна, МПК (2009) кл. B02C 19/00, B02C 23/06. Подрібноувач / В. О. Турушин, Г. І. Нечасв, С. В. Ленич; заявл. 05.05.2009; опубл. 25.09.2009, Бюл. № 18.
- Патент 101529 Україна, МПК (2013.01) кл. B02C 19/06, B02C 23/00. Газоструминний подрібноувач / В. О.

Турушин, С. В. Ленич; заявл. 23.05.2011; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7.

11. Нечасв Г.И., Ленич С.В., Турушин В.А. Математическая модель процесса измельчения угля в пневмотранспортной измельчительной установке // Вестник МЭИ. – 2016. – № 6. – С. 58-63.

12. Контроль и автоматическое управление пылеподачей на ТЭС / Л.А. Кесова. – К.: Вища шк., 1991. – 142 с.

13. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. – М., «Химия», 1977. – 368 с.

14. Левит Г.Т. Пылеприготовление на тепловых электростанциях. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 384 с.

15. Нормы расчёта и проектирования пылеприготовительных установок / Под ред. М.Л. Кисельгофа и Н.В. Соколова. – Госэнергоиздат, 1958.

Ryabichev V.D., Lenich S.V.

METHODS OF CONDUCTING EXPERIMENTS IN A PNEUMATIC TRANSPORT MILL

The paper describes the method of experimental research of coal grinding in a pneumatic transport mill, including: analysis of the studied factors affecting the efficiency of grinding from the design and technological parameters of the plant, description of the experimental plant, the principle of its operation and the order of experiments. To identify the main patterns of anthracite grinding during pneumatic transport, it is sufficient to determine the influence of the most significant factors: the angle of attack of particles α , the velocity of the particle V at the moment of impact on the wall, the initial particle size d and the mass concentration of the air mixture μ . Limits of variation of the studied factors: $\alpha = 0...30^\circ$; $V = 50...100$ m/s; $d = 0.09...6$ mm and $\mu = 0.5...2$ kg/kg.

Key words: grinding, pneumatic transport, mill, coal powder processing, coal, experiment.

Рябичев Виктор Дронович, д-р техн. наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: dahl.univer@yandex.ru

Ryabichev Viktor, Dr. Sci. (Eng.), professor, rector of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Ленич Сергей Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: mouselenich@yandex.ru

Lenich Sergey, Cand. Sci. (Eng.), Docent of the Transport Technologies Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Статья подана 20.04.2023

УДК 621.874

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТОРМОЗОВ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ НА БАЗЕ АЦП

Самойлова И. С., Мирошников А. А.

LABORATORY BENCH FOR BRAKE TESTING LIFTING MACHINES WITH MEASURING COMPLEX BASED ON AN ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

Samoilova I. S., Miroshnikov A. A.

При срабатывании нормально замкнутых тормозов тормозной момент практически мгновенно достигает максимального значения, динамические процессы при этом проходят очень интенсивно, и на элементы приводов и металлоконструкций кранов действуют повышенные динамические нагрузки, что снижает надежность крана в работе. Для формирования оптимального тормозного процесса разработан лабораторный стенд для испытания тормозных устройств грузоподъемных машин различных конструкций с измерительным комплексом на базе аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Ключевые слова: мостовой кран, исследования тормозов, испытательный стенд, аналогово-цифровой преобразователь, тензодатчики.

Введение. На кафедре подъемно-транспортной техники Луганского государственного университета им. В. Даля для испытаний тормозов различных конструкций [1] разработан и введен в действие специальный лабораторный стенд с измерительным комплексом на базе ПК и аналого-цифрового преобразователя. С помощью стенда возможно проводить исследования магнитопорошковых тормозов, колодных тормозов с электромагнитными и электрогидравлическими толкателями, устройств электродинамического торможения асинхронных электродвигателей. С учетом целей и задач различных исследований [2] в конструкцию стенда вносятся необходимые изменения и усовершенствования.

На рис. 1 и 2 показаны общий вид стенда и его основных узлов, на рис. 3 – принципиальная кинематическая схема стенда.

В процессе испытаний тормоз 3 (рис. 3) размещают на качающейся раме 1, подвешенной на подшипниках качения в верхних опорах двух стоек (рис. 2). Измерение тормозного момента осуществляют с помощью динамометрических колец 6, соединенных с основанием сферическими шарнирами. Коромысло 5 жестко закреплено на качающейся раме 1. Положение штока 10 толкателя

определяют с помощью потенциометра, подвижный контакт которого присоединяют непосредственно к штоку, а основание – к корпусу толкателя. Динамометрические кольца 9, предназначенные для измерения усилия толкателя, шарнирно прикрепляют к рычагу 7 тормоза и соединяют с помощью сферических шарниров с коромыслом 8, связанным со штоком 10.



Рис. 1. Общий вид стенда для испытания тормозных устройств



Рис. 2. Тормоз на качающейся раме и электродвигатель постоянного тока, соединенный с валом тормозного шкива упругой муфтой

Вал электродвигателя постоянного тока 4 соединен с вращающейся массой 2, состоящей из 18 дисков, что позволяет изменять ее момент инерции от 2 до 60 кг·м² путем присоединения или отсоединения от вала дисков маховой массы без демонтажа стенда.

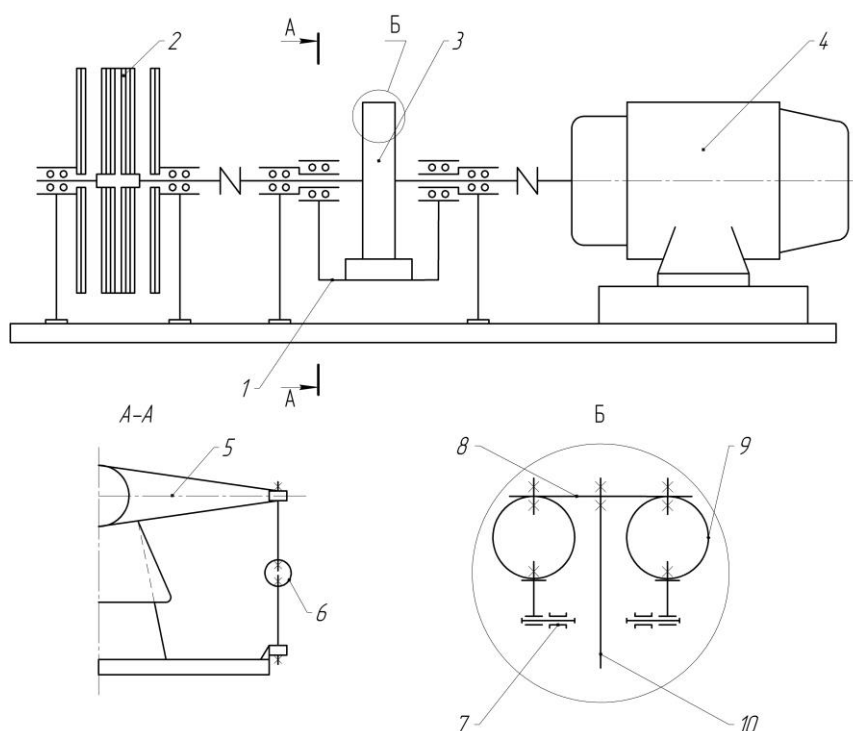


Рис. 3. Кинематическая схема стенда

Конструкция крепления качающейся рамы 1 (рис. 3), на которую установлен испытуемый тормоз 3, видна на рис. 1-2. Сопоставление рис. 1 и 3 позволяет разобраться с конструкцией вращающейся (маховой) массы 2. Диски посажены на вал с возможностью их осевого перемещения. Средняя часть вала дисков 2 имеет больший диаметр, чем концевые. При горизонтальном перемещении диски выходят за пределы шпонки. Таким образом, часть дисков можно сделать не вращающимися, т.е. изменять величину маховой массы. Вращающиеся диски стянуты между собой болтами.

Привод стенда состоит из разгонного двигателя 4 (рис. 3), систем питания, управления и контроля режимов работы. С целью расширения диапазона аккумулируемой кинетической энергии в качестве разгонного применен двигатель постоянного тока типа П-61М мощностью 12 кВт. Система питания двигателя выполнена на базе выпрямительной станции ВС-25, предназначенной для преобразования переменного тока в постоянный в пределах 0...380 В. Блок управления включает понижающий трансформатор, выпрямитель и программное устройство. От трансформатора с помощью выпрямителя производится питание постоянным током обмотки возбуждения электромагнитного тормоза. В качестве программного устройства автоматического режима управления использовано моторное реле ВС-10 с шестью независимыми группами контактов, время срабатывания которых может варьироваться в диапазоне от 3 до 180 с. Для возврата в исходное положение используется электронное реле времени.

Управление приводом стенда, испытуемым тормозом, измерительной аппаратурой, датчиками и системой сигнализации обеспечивается группой функционально зависимых реле, пускателей и переключателей.

Измерение и регистрация исследуемых величин производятся измерительно-регистрирующей аппаратурой на базе АЦП Е14-140-М (рис. 4). Характеристики комплекса для измерения напряженно-деформированного состояния с помощью тензодатчиков:

1. Е14-140М имеет АЦП 14 бит/ 200 КГц для подключения до 16 дифференциальных каналов или 32 с «общей землей», 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 междомдульной синхронизации. Применение цифрового сигнального процессора и загрузка прикладных программ позволяют реализовывать различные функциональные алгоритмы и специализированные режимы работы модуля при низкоуровневом программировании [3].

2. Универсальный одноканальный предварительный усилитель напряжения сигнала полного тензометрического моста и полумоста, термодары и т.д. в компактном исполнении. Со стороны разъема датчика имеет: питание моста 5/2,5 В, выход «средней точки» для подключения тензометрического полумоста. Выход предусилителя совместим как с дифференциальным входом, так и со входом с землей 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. На вход схемы можно подавать переменное напряжение в широком диапазоне, имеющем ограничения только допустимым напряжением диодов моста, допустимым напряжением конденсаторов питания и напряжением

транзисторов. Выходное напряжение каждого из плеч равно половине общего напряжения питания.

4. Проволочный тензорезистор массового применения представляет собой плоскую петлеобразную проволочную обмотку прямоугольной формы (решетку), к концам которой припаяны или приварены относительно толстые выводы из медной проволоки. Проволочная решетка с помощью специального клея закрепляется на тонкой прямоугольной полоске из бумаги, клеевой или лаковой пленки, служащей для решетки подложкой (основой).

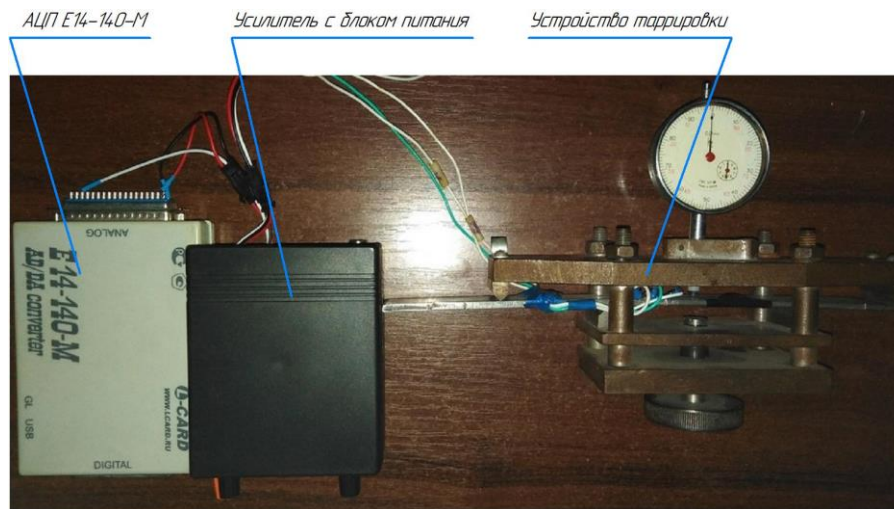


Рис. 4. Многоканальная тензометрическая измерительная система на базе АЦП E14-140-M

Результаты исследований. Датчики усилия толкателя представляют собой кольца с наклеенными на них тензорезисторами, соединенными между собой по четыре по полумостовой схеме. Перед подачей сигналов датчиков на измерительное и регистрирующее устройство в схему включен усилитель и блок питания. Изменения сопротивления тензодатчиков регистрируется АЦП с последующей связью через USB с ПК с помощью программы Power Graph. Тарировку датчиков производили с помощью динамометров растяжения типа ДПУ-01-2. Общий вид измерительного комплекса представлен на рис. 5.

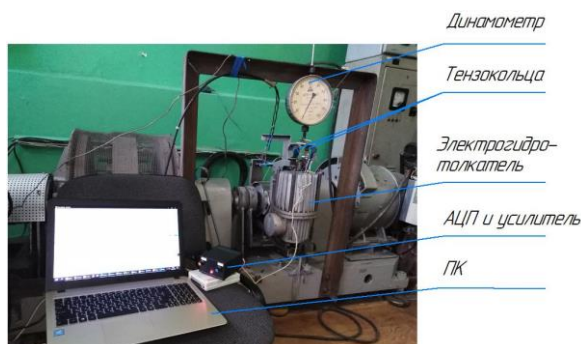


Рис. 5. Общий вид измерительного комплекса

Используя данные измерения при тарировки [4], переводим полученные результаты в напряжение. На рис. 6 изображена осциллограмма усилия на штоке электрогидротолкателя, записанная при помощи измерительного комплекса.

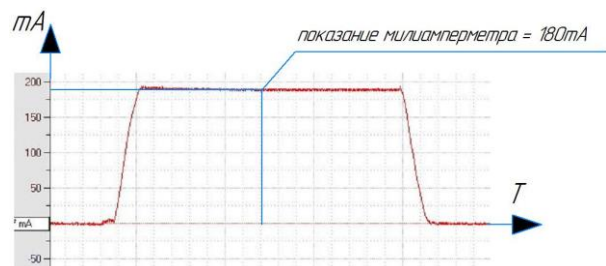


Рис. 6. График процесса растормаживания колодочного тормоза с последующим торможением

Выводы. 1. Экспериментальный лабораторный стенд позволяет моделировать тормозные режимы, аналогичные реальным при эксплуатации грузоподъемных кранов. Это позволяет оценить эффективность торможения механизма и его влияние на срок службы машины в целом.

2. Многоканальная тензометрическая система на базе АЦП E14-140-M позволяет записывать в режиме реального времени до 16 каналов с

различных тензодатчиков, то есть измерять различные параметры (усилие на штоке электрогидротолкателя, тормозной момент, усилие в тяге) процесса торможения.

Л и т е р а т у р а

1. Александров М.П. Тормоза подъемно-транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1976. – 383 с.
2. Будиков Л.Я., Самойлова И.С., Криничный П.Ю. Стенд для испытания тормозов // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 3. – С. 20-21.
3. Путилин А.Б. Вычислительная техника и программирование в измерительных информационных системах: учебное пособие для вузов / А.Б. Путилин. – М.: Дрофа, 2006. – 447 с.
4. 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.

Samoilova I.S., Miroshnikov A.A.

LABORATORY BENCH FOR BRAKE TESTING LIFTING MACHINES WITH MEASURING COMPLEX BASED ON AN ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

When normally closed brakes are triggered, the braking moment reaches its maximum value almost instantly, dynamic processes are very intense, and increased dynamic loads act on the elements of the cranes and metal structures, which reduces the reliability of the crane in operation. To form an optimal braking process, a laboratory stand has been

developed for testing braking devices of lifting machines of various designs with a measuring complex based on an analog-to-digital converter.

Key words: overhead crane, brake research, test bench, analog-to-digital converter, load cells.

Самойлова Ирина Сергеевна, старший преподаватель кафедры «Подъемно-транспортная техника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: isamalan@rambler.ru

Samoilova Irina, senior teacher of the Department «Chair Hoisting-and-transport equipment» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Мирошников Алексей Александрович, старший преподаватель кафедры «Подъемно-транспортная техника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: topalexengineering@gmail.com

Miroshnikov Aleksey, senior teacher of the Department «Chair Hoisting-and-transport equipment» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 15.04.2023

УДК 629.113.004

ВЫБОР ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ БЕНЗИНОВЫХ ДВС

Сметана С. А., Сидорченко А. В.

SELECTION OF DIAGNOSTIC PARAMETERS AND DIAGNOSTIC MODES FOR ELECTRIC FUEL PUMPS OF GASOLINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Smetana S. A., Sidorchenko A. V.

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований контроля технического состояния электрических топливных насосов системы питания бензиновых ДВС.

Ключевые слова: система питания ДВС, электрический топливный насос, эксперимент, диагностический параметр.

Введение. С целью улучшения рабочих характеристик двигателя, повышения чистоты отработавших газов, экономичности, мощности электронный блок управления впрыском топлива – ЭБУ, являющийся неотъемлемой частью системы управления двигателем на базе микро ЭВМ, рассчитывает на основании сигналов датчиков количество впрыскиваемого топлива для получения оптимального состава горючей смеси в зависимости от режима работы двигателя (рис. 1).



Рис. 1. Общий алгоритм расчета количества впрыска топлива

На практике в большинстве случаев впрыск топлива осуществляется синхронно: на один оборот коленчатого вала двигателя выполняется один впрыск, но во время ускорения автомобиля для

повышения мощности двигателя наряду с синхронным, осуществляется асинхронный впрыск [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Давление топлива поступающего на форсунки, поддерживает двумя способами:

- механическим регулятором давления, представляющим собой редукторный пружинный клапан, настроенный на слив излишек топлива при превышении установленного давления. Массово применяется в системах питания низкого давления (2...4 атм.) бензиновых ДВС легковых автомобилей;
- управляемым клапаном регулятора давления с электромагнитной катушкой (ШИМ – регулирование) или с шаговым двигателем (кодированное управление). Массово применяется в системах питания высокого давления (100...150 атм.) дизельных ДВС грузовых и легковых автомобилей. В данном случае λ зонд не применяется. Сигналы датчиков несут информацию о режиме работы двигателя, его температуре, оборотах, атмосферном давлении, положении дроссельной заслонки и т. д. Исходя из полученной информации, блок ЭБУ управляет изменением проходного сечения регулятора давления, тем самым достигается соответствие давления топлива подводимого к форсункам состоянию двигателя [2].

Данный способ дозирования имеет место только при одном условии: давление топлива в топливной магистрали дозирующих устройств, при работающем двигателе, не зависимо от режима его работы, должно поддерживаться на одном уровне с достаточной точностью.

Таким образом, электрический топливный насос (ЭТН) является ключевым элементом системы питания ДВС. От его технического состояния зависит надежность и качественные показатели работы всей системы впрыска в целом. Наличие достаточно большого разнообразия конструкций электрических топливных насосов влечет за собой

сложность с идентификацией неисправности или отказа [3, 5, 6].

Цель исследования. Исследования проводились с целью совершенствования технологии диагностирования эксплуатационной надежности электрических топливных насосов системы питания распределенного впрыска жидкого моторного топлива.

Материалы и результаты исследования. При исследовании процесса подачи топлива рассматривались участки топливной магистрали до ЭТН и после него, с учетом влияния на сигнал давления технического состояния элементов системы питания.

Разобьем процесс подачи топлива на ряд участков (1, 2, 3), позволяющих исследовать работу всех элементов системы питания (рис. 2):

1. Участок движения топлива от ЭТН до топливного фильтра.
2. Участок движения топлива от топливного фильтра до топливной рампы.
3. Участок движения топлива от топливной рампы до форсунок.

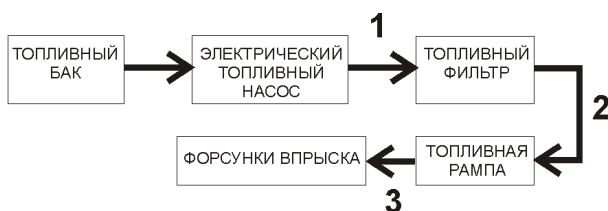


Рис. 2. Контрольные участки топливной магистрали

Следует учесть, что составить модель процесса подачи топлива, учитывающую всю совокупность условий, сопутствующих реальному процессу подачи не представляется возможным из-за его сложности [4].

По этой причине рассмотрим основные элементы системы питания и установим степень влияния их технического состояния на сигнал давления в топливной магистрали.

Величина давления в топливной магистрали определяется выражением:

$$\Delta P = \frac{Q^2 \cdot p}{(\mu \cdot f)^2 \cdot 2}, \quad (1)$$

где Q – величина подачи ЭТН, м³; p – время заполнения рампы, с; μ – коэффициент расхода; f – сечение распылителя форсунки, м².

В связи с различными механизмами действия неисправностей элементов системы топливоподачи, и изменением их технического состояния, рассмотрим имитационную модель системы топливоподачи.

Так, например засорение топливного фильтра, можно представить последовательным сопротивлением в топливной магистрали, а износ электрического бензинового насоса параллельным

сопротивлением. Запишем данное условие для системы топливоподачи:

Общая динамическая пропускная способность $\mu_{общ} \cdot f_{общ}$ всех элементов системы топливоподачи определится как:

$$\frac{1}{\mu_{общ} \cdot f_{общ}} = \frac{1}{\mu_n \cdot f_n} + \frac{1}{\mu_{посл} \cdot f_{посл}}, \quad (2)$$

где $\mu_{посл} \cdot f_{посл}$ – динамическая пропускная способность последовательных элементов, м³; $\mu_n \cdot f_n$ – динамическая пропускная способность насоса, м³.

Динамическая пропускная способность последовательных элементов системы топливоподачи определится как:

$$\mu_{пос} \cdot f_{посл} = \mu_{\phi} \cdot f_{\phi} + \mu_{эм\phi i} \cdot f_{эм\phi i}, \quad (3)$$

где $\mu_{\phi} \cdot f_{\phi}$ – динамическая пропускная способность фильтра, м³; $\mu_{эм\phi i} \cdot f_{эм\phi i}$ – динамическая пропускная способность i -ых электромагнитных форсунок, м³.

При изменении сопротивления топливного фильтра будет ограничена подача ЭТН, другими словами коэффициент запаса производительности ЭТН $K_{сф}$ будет значительно меньше 1,4. Для оценки сопротивления топливного фильтра можно записать:

$$K_{сф} = \frac{n_{\max p}}{n_{\max n}} \quad (4)$$

где $n_{\max p}$ – максимальная частота вращения диагностируемого ДВС, мин⁻¹; $n_{\max n}$ – максимальная частота вращения эталонного ДВС, мин⁻¹.

Однако неисправности – значительное сопротивление топливного фильтра и уменьшение подачи ЭТН проявляются одинаково. Для их разделения предлагается измерять ток потребления ЭТН. В этом случае можно записать условие для топливного фильтра:

$$K_{сф} = \frac{n_{\max p}}{n_{\max n}} \text{ при } I_p \gg I_n \quad (5)$$

где I_p – ток потребления диагностируемого ЭТН, А; I_n – ток потребления нового ЭТН, А.

По мере роста сопротивления топливного фильтра ток потребления ЭТН будет пропорционально возрастать, данный диагностический параметр является чувствительным для оценки технического состояния топливного фильтра.

При не загрязненном фильтре выражение примет вид:

$$K_{сф} = \frac{n_{\max p}}{n_{\max n}} \text{ при } I_p = I_n \quad (6)$$

Ток примет значение тока – для работы нового ЭТН, это говорит о том, что причиной снижения частоты вращения является износ ЭТН.

Электрический топливный насос (ЭТН) ротационного роликового типа одно- или многосекционный. Размеры деталей насоса, мм: ротор – Ø 30, статор – Ø 32, эксцентриситет – 1, ролики – Ø 5,5, длина – 6 [2, 6].

На входе ЭТН предусмотрена фильтрующая сетка (ФГО), призванная задерживать относительно большие посторонние примеси.

ЭТН может располагаться как вне бака так и непосредственно быть погруженным в топливо в баке (рис. 3).

ЭТН имеет цилиндрическую форму и являет собой объединенный агрегат – электродвигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов и собственно насос ротационного роликового типа.

Давление, которое развивается насосом или давление в системе, также зависит от конструкции системы питания и находится в пределах 0,45-0,62 МПа.

Производительность насосов при 20 °С и напряжении питания = 14 В порядка 1,7-2,0 л / мин. Диапазон рабочих напряжений 7-15 В, максимальное значение силы тока 4,7-9,5 А.



Рис. 3. Расположение ЭТН

Анализ конструкций разных систем питания ДВС с электронным управлением показал, что ЭТН является неотъемлемой частью любой системы, отличаясь только величиной контролируемых параметров [2, 5].

Анализ возможных отказов разных систем питания через неисправность электрического ЭТН показывает их сходство по проявлению, которое сводится к следующему: двигатель не запускается или запускается с трудностями, нестабильная частота холостого хода, двигатель глохнет не в зависимости от включенной передачи, падение мощности двигателя. Однако тот же анализ показывает, что подобные проявления могут быть вызваны и неисправностью других агрегатов системы питания ДВС. В связи с этим существует

необходимость в проверке технического состояния ЭТН, что позволит более точно идентифицировать агрегат, который вызывает нарушение функционирования системы топливоподачи.

Общая экспериментальная методика предусматривает решение поставленных задач путем проведения лабораторных исследований по следующим контролируемым параметрам:

- напряжение питания, В;
- ток потребления, А;
- производительность по расходу, л/ч;
- развиваемое давление, кПа.

Определения технического состояния ЭТН проводилось на двух тестовых режимах диагностирования на лабораторной установке (рис. 4):

- тестирование ЭТН в режиме его работы без нагрузки;
- тестирование, в котором ЭТН работает в паре с ограничителем подачи топлива.

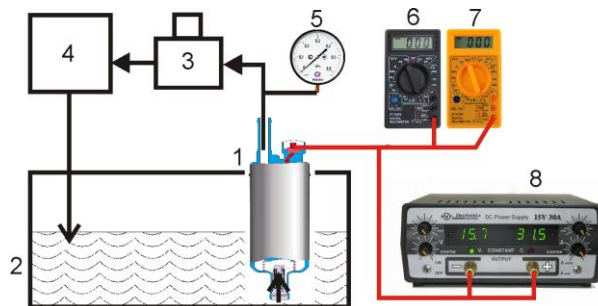


Рис. 4. Схема лабораторной установки для испытания ЭТН

Эксперимент 1: устанавливается диагностируемый ЭТН с выходными параметрами, соответствующими заводским нормам (рис. 4).

Для изменения параметров напряжения питания ЭТН используется мультиметр в режиме вольтметра – 6, который подсоединялся к разъёму реле ЭТН, с помощью которого можно регулировать напряжение питания ЭТН в пределах 0...18 В с дискретностью 0,1 В от блока лабораторного питания – 8 и мультиметр в режиме амперметра – 7, для измерения тока потребления. В линию топливоподачи подсоединен манометр давления МТ4А-5, с пределом измерения 0...400 кПа и далее нагрузочное устройство – 3 для имитации сопротивления топливопровода и расходомер топлива – 4 для измерения производительности. Циркуляция топлива осуществляется по кольцевой схеме: топливная емкость – 2 → ЭТН – 1 → нагрузочное устройство – 3 → расходомер – 4 → топливная емкость – 2.

При тестировании ЭТН в режиме работы без нагрузки (холостой ход) в ходе эксперимента 1 были получены данные, которые представлены на (рис. 5) в виде зависимостей изменения силы тока и

давления в топливной системе от напряжения питания ЭТН.

По показаниям расходомера топлива фиксировалась производительность ЭТН в зависимости от величины давления и напряжения питания (рис. 7. ряд – 1).

Эксперимент 2 проводился по схеме, аналогичной (рис. 4), но дополнительно в разрез топливопровода, после ЭТН, устанавливается нагрузочное устройство – 3, задачей которого является уменьшение проходного сечения в топливо – проводе, тем самым увеличив в нем противодействие, которое фиксируется по показаниям манометра – 5 (рис. 5, 6).

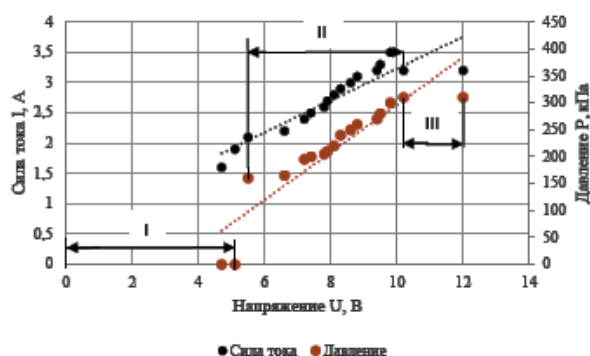


Рис. 5. Зависимость изменения силы тока и давления в топливной системе от напряжения питания ЭТН на холостом ходу

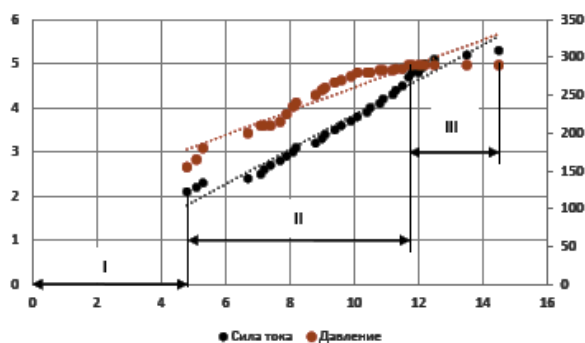


Рис. 6. Зависимость изменения силы тока и давления в топливной системе от напряжения питания ЭТН с нагрузкой:

участок I – неработоспособное состояние; участок II – нагрузка от 40 до 50%; участок III – нагрузка 70%

Из-за роста сопротивления в линии топливоподдачи наблюдается неустановившееся давление P , кПа создаваемое ЭТН в системе топливоподдачи от напряжения U , В питания насоса, так, разность величины давления на всем протяжении III участка составляет 20 кПа.

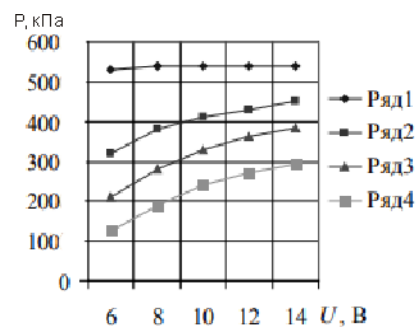


Рис. 7. Зависимость максимально развиваемого давления от нагрузки в топливопроводе:

ряд 1 – технически исправный ЭТН, ряд 2 – снижение производительности на 40%, Ряд 3 – снижение производительности на 50%, ряд 4 – снижение производительности на 70%

Выводы. 1. Результаты теоретических исследований позволили выбрать диагностические параметры и режимы диагностирования электрических топливных насосов.

2. Предположение о существовании взаимосвязи между давлением развиваемым ЭТН, напряжением питания и силой тока, можно считать доказанным экспериментально, что позволяет их использование в качестве комплексных диагностических параметров.

Л и т е р а т у р а

1. Говорущенко М.Я. Место и роль диагностики в условиях новой концепции ее развития. – М., 1991. – 52 с. (Автомобильный транспорт. Сер. Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей: Обзорная, информация.: Информавтотранс; Вып. 8).
2. Данов Б.А., Титов Е.И. Электронное оборудование иностранных автомобилей: Системы управления двигателем. – М.: Транспорт, 1998. – 76 с.
3. Лакин П. Фирма Lucas. Электронные системы впрыска топлива // Автомобильная промышленность. – 1994. – № 9. – С. 37-39.
4. Повышение эффективности процесса диагностирования систем питания на основе реализации новых методов и средств тестового диагностирования / Д.Б. Власов // АПК России. – 2015. – Т. 74. – С. 30-35.
5. www.dendrit.ru.
6. www.eprints.kname.tdu.ua.

Smetana S.A., Sidorchenko A.V. SELECTION OF DIAGNOSTIC PARAMETERS AND DIAGNOSTIC MODES FOR ELECTRIC FUEL PUMPS OF GASOLINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES

The results of theoretical and experimental studies of the control of the technical condition of electric fuel pumps of the gasoline internal combustion engine power system are presented.

Key words: internal combustion engine power system, electric fuel pump, experiment, diagnostic parameter.

Сметана Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Smetana Sergey, Cand. Sci. (Eng.), Docent of the Department "Car transport" of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Сидорченко Александр Владимирович, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Sidorchenko Alexander, Senior Lecturer of the Department "Car transport" of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 12.04.2023

УДК 629.113.004

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ФАКТОРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК ВПРЫСКА БЕНЗИНА НА ИЗМЕНЕНИЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Сметана С. А., Сидорченко А. В., Бойко В. В.

STUDY OF THE INFLUENCE OF DESIGN AND MODE FACTORS OF ELECTROMAGNETIC PETROL INJECTOR TO CHANGE THEM PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Smetana S. A., Sidorchenko A. V., Boyko V. V.

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований для выявления влияния фактического технического состояния форсунок впрыска на их эксплуатационные характеристики.

Ключевые слова: эксперимент, электромагнитная форсунка, впрыск, параметр.

Введение. В настоящее время получили широкое распространение разнообразные системы впрыска топлива, наиболее современные из которых, представляют собой систему управления двигателем (ЭСАУД) на базе микро ЭВМ [1]. Электронный блок управления (ЭБУ), как базовый элемент данных систем, для получения оптимального состава горючей смеси, в зависимости от режима работы двигателя, рассчитывает количество впрыскиваемого топлива как функцию времени открытия исполнительного устройства – электромагнитной форсунки впрыска (или нескольких форсунок), при условии, что давление топлива в системе питания соответствует условию $P_c = const$.

Анализ последних исследований и публикаций. Электромагнитная форсунка, представляющая собой электромагнитный клапан, состояние которого (открыт / закрыт) определяется фактическим уровнем управляющего сигнала ЭБУ (высокий / низкий).

Время открытия клапана форсунки (для случая синхронного впрыска), ЭБУ рассчитывает с учетом известных эксплуатационных факторов, входящих в выражение [2]:

$$T_c = T_o \sum K + T_{\text{пит}}, \quad (1.1)$$

где T_c – общее время синхронного впрыска;

T_o – основное время впрыска, есть базовая величина, которая изменяется в зависимости от фактического режима работы ДВС;

ΣK – суммарный коэффициент коррекции, зависящий как от режима работы ДВС, так и от его температурного режима;

$T_{\text{пит}}$ – поправка времени впрыска на фактическое напряжение в бортовой сети автомобиля.

Данное выражение учитывает только те эксплуатационные факторы, которые можно использовать путем прямого или косвенного измерения, предусмотренного конструкцией ЭСАУД. Однако, при естественном ухудшении технического состояния форсунки в процессе эксплуатации, которое, в свою очередь, существенно зависит от наличия в топливе различных примесей, ее технические характеристики достигают недопустимо низкого уровня, при котором ЭСАУД, не способна их скорректировать, так как нарушается синхронность работы системы питания с фазами работы ДВС.

Возможные неисправности любой из систем впрыска, вызванные загрязнением электромагнитной форсунки (форсунок), проявляются следующим образом [3]:

- двигатель не запускается или запуск затруднен;
- двигатель запускается и глохнет;
- двигатель работает неустойчиво на холостом ходу;
- присутствует повышенный расход топлива и содержание вредных компонентов в отработавших газах ДВС.

Цель исследования. Исследования проводились с целью совершенствования технологии диагностирования эксплуатационной надежности форсунок распределенного впрыска жидкого моторного топлива.

Материалы и результаты исследования. С целью выбора режимов диагностирования и диагностических параметров электромагнитных

форсунок (ЭМФ), единичный процесс топливоподачи можно описать математической моделью [4].

Для выделения информации о влиянии технического состояния отдельных элементов форсунки на ее пропускную способность весь процесс топливоподачи был разбит на три временных интервала – три этапа процесса топливоподачи (рис. 1).

На первом этапе происходит подъем запорной иглы на максимальную величину, при этом пропускная способность ЭМФ увеличивается. Движение иглы вверх при открытии ЭМФ осуществляется под действием ряда сил (рис. 2): тяговой силы электромагнита $F_{м.э}$, силы предварительного сжатия пружины $F_{пр.с}$, силы давления топлива на иглу F_d и сил трения $F_{тр}$.

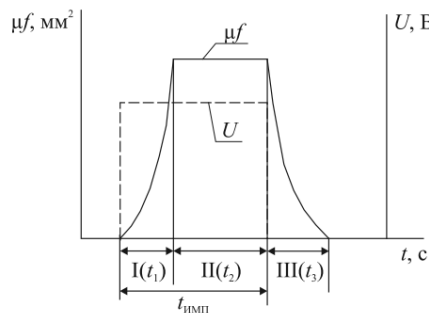


Рис. 1. Изменение пропускной способности ЭМФ μf , мм², бензинового ДВС во времени t , с, под действием электромагнитного импульса U , В:

t_1 – время открытия иглы ЭМФ, с; $t_{имп}$ – время действия электромагнитного импульса, с; t_2 – время полного открытия иглы ЭМФ, с; t_3 – время закрытия (опускания) иглы ЭМФ, с; I(t_1) этап – увеличение пропускной способности ЭМФ; II(t_2) этап – постоянство пропускной способности ЭМФ

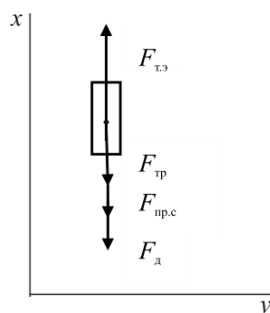


Рис. 2. Схема соотношения сил, действующих на иглу форсунки

Таким образом, на основе анализа рис. 1 получаем суммарное время трех этапов изменения пропускной способности ЭМФ:

$$t_P = t_1 + t_2 + t_3 \quad (2)$$

Перемещение запорной иглы на первом этапе открытия ЭМФ при условии, что тяговая сила

электромагнита, создаваемая однородным магнитным потоком при малых перемещениях, принимается постоянной.

При подаче электрического импульса на ЭМФ открытие запорной иглы происходит не мгновенно. Время открытия ЭМФ включает в себя время трогания иглы t_m , измеряемое от момента подачи напряжения на обмотку до момента начала движения иглы, и время движения иглы t_d .

Из чего следует, что на длительность первого этапа оказывают влияние тяговая сила электромагнита, сила предварительного сжатия пружины, сила давления топлива в рампе, силы трения в период ее открытия, т.е. структурные параметры технического состояния ЭМФ. Время открытия ЭМФ является выходным параметром процесса топливоподачи, комплексно отражающим все структурные параметры технического состояния ЭМФ.

Второй этап работы ЭМФ характеризуется неизменной пропускной способностью во времени, так как игла находится в неподвижном, максимально поднятом состоянии.

Третий этап характеризуется уменьшением пропускной способности ЭМФ; в ходе этапа выключается подача электрического сигнала и игла запирает проходной канал ЭМФ. При этом перемещение иглы запорного клапана происходит под действием силы сжатой пружины, давления топлива на иглу и силы трения между запорной иглой и корпусом ЭМФ.

Из чего следует, что на длительность третьего этапа закрытия ЭМФ, следовательно, и на пропускную способность за этот период могут оказывать влияние сила предварительного сжатия пружины, сила давления топлива в рампе, сила трения.

Следовательно, пропускную способность форсунки необходимо определять на двух режимах:

- на режиме малых подач топлива, где пропускная способность форсунки зависит от процесса открытия и закрытия форсунки;
- на режиме больших подач топлива, где влияние процесса открытия и закрытия форсунки на пропускную способность минимально.

Экспериментальная проверка диагностического параметра – пропускной способности форсунки, осуществлялась косвенно по амплитуде и времени пульсации давления топлива в топливной рампе.

Испытания проводились на работающих двигателях автомобилей с системой распределенного впрыска с использованием экспериментальной установки (рис. 3) в составе цифрового осциллографа, персонального компьютера с соответствующим программным обеспечением и комплекта датчиков синхронизации и пульсации топлива.



Рис. 3. Структурная схема экспериментальной установки

Датчик синхронизации электромагнитного типа устанавливался на высоковольтный провод первого цилиндра с целью привязки изображения датчика пульсации к циклу работы двигателя.

Датчик пульсации давления в топливной рампе представляет собой пьезокерамическую мембрану, помещённую в корпус так, что она разделяет внутренний объём корпуса на две половины (рис. 4). Одна половина корпуса имеет открытое отверстие для обеспечения с этой стороны мембраны атмосферного давления, другая снабжена штуцером для подключения к регулятору давления топлива.

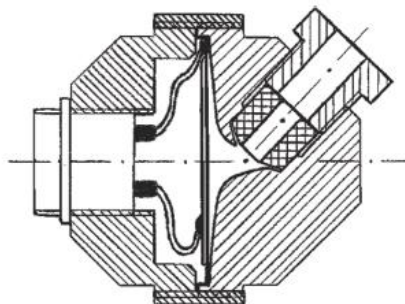


Рис. 4. Конструкция датчика пульсаций топлива

При изменениях давления пьезокерамическая мембрана начинает деформироваться и генерировать переменное напряжение. Если это напряжение подать на вход осциллографа, то на мониторе можно будет наблюдать график изменения давления внутри подсоединённого к штуцеру датчика.

В системах впрыска топлива инжекторных двигателей давление в топливной рейке поддерживается на заданном уровне с помощью регулятора давления топлива, который обеспечивает его путём сброса избытка топлива, подаваемого бензонасосом, обратно в топливный бак. Как только давление топлива возрастает и оно превышает усилие пружины, мембрана смещается и открывает клапан слива топлива в бак, что приводит к снижению давления топлива в системе до установленной нормы [5].

При открытии форсунки часть топлива начинает протекать через неё, что приводит к

снижению давления в рейке. Мембрана регулятора давления под действием пружины смещается в другую сторону, частично перекрывая клапан слива топлива, препятствуя, таким образом, снижению давления. Величина смещения мембраны напрямую зависит от количества топлива, протекающего через форсунку, то есть – от её производительности и от времени открытия. При закрытии форсунки происходит обратный процесс, мембрана регулятора давления смещается в сторону большего открытия клапана слива топлива.

После подсоединения датчика пульсаций к вакуумному штуцеру регулятора давления топлива (рис. 5), запускается двигатель автомобиля и на мониторе осциллографа наблюдается график перемещений мембраны регулятора давления топлива в процессе открытия и закрытия форсунки.

По этому графику можно сравнить амплитуды перемещений мембраны при срабатывании разных форсунок. Ввиду того, что на установившемся режиме работы двигателя длительность импульсов открытия для всех форсунок относительно одинакова и стабильна, амплитуда перемещений мембраны в этом случае зависит только от производительности форсунок (рис. 6).



Рис. 5. Размещение датчика пульсаций на топливной рампе двигателя

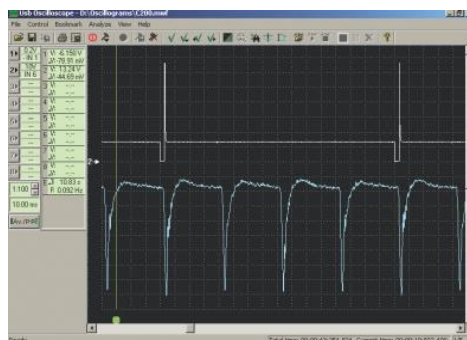


Рис. 6. Оциллограмма пульсаций давления технически исправных форсунок впрыска

Если же, вследствие их загрязнения, производительность изменилась и для разных форсунок различна, то и амплитуда перемещений мембраны регулятора давления топлива будет различной (рис. 7). Таким образом, по полученной

осциллограмме можно оценить состояние форсунок без их снятия с двигателя [6, 7].

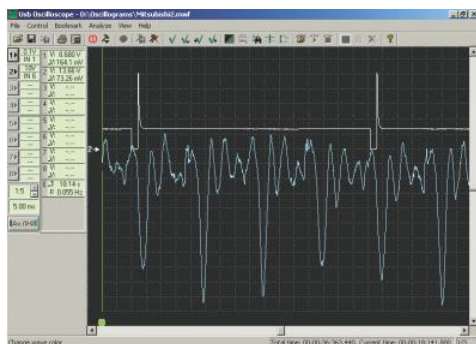


Рис. 7. Осциллограмма пульсаций давления при загрязненных форсунках впрыска

Выводы. Для разных автомобилей графики сильно отличаются. Значительное влияние на форму графиков оказывают следующие факторы:

- обороты двигателя;
- длительность импульсов открытия форсунок (горячий/холодный двигатель);
- длина и форма топливной рейки;
- конструкция топливного насоса;
- наличие демпфера (гасителя пульсаций);
- конструкция и объём вакуумной камеры регулятора давления топлива;
- площадь поверхности мембраны регулятора давления топлива;
- конструкция клапана слива топлива (ход открытия);
- длина патрубка, соединяющего регулятор давления топлива в системе и датчик пульсаций;
- давление топлива в системе.

Л и т е р а т у р а

1. Говорущенко М.Я. Место и роль диагностики в условиях новой концепции ее развития. – М., 1991. – 52 с. (Автомобильный транспорт. Сер. Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей: Обзорная информация.: Информавтотранс; Вып. 8).
2. Росс Твег Системы впрыска бензина. Практическое пособие. – М.: За рулем, 1996. – 144 с.
3. Tekhnosfera.com / diagnostirovanie-elektromagnitnyh-forsunok-benzinovyh.
4. Керимов Ф.Ю. Теоретические основы сбора и обработки информации о надежности машин. – М., МАДИ, 1979. – 135 с.
5. Сига Х., Мидзутани С. Введение в автомобильную электронику: Пер.с.японск. – М.: Мир, 1989. – 232 с.

6. Стенд для проверки и очистки электромагнитных форсунок «Спрут-Форсаж» Инструкция пользователя. ЗАО «ПО Энергия» 2001 г.

7. «Injection system purge» Winn's oil company (номер патента PN-76603).

Smetana S.A., Sidorchenko A.V., Boyko V.V.

STUDY OF THE INFLUENCE OF DESIGN AND MODE FACTORS OF ELECTROMAGNETIC PETROL INJECTOR TO CHANGE THEM PERFORMANCE CHARACTERISTICS

The results of theoretical and experimental studies are presented to identify the influence of the actual technical condition of injection nozzles on their operational characteristics.

Key words: experiment, electromagnetic injector, injection, parameter.

Сметана Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Smetana Sergey, Cand. Sci. (Eng.), Docent of the Department "Car transport" of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Сидорченко Александр Владимирович, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Sidorchenko Alexander, Senior Lecturer of the Department "Car transport" of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Бойко Вадим Вадимович, аспирант кафедры «Электротехника», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Boyko Vadim, post-graduate student of the department "Edectotechnics" of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 12.04.2023

УДК 621.039.58

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КАСКАДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Тарарычкин И. А., Анисимов В. Н.

CONDITIONS OF OCCURRENCE AND DEVELOPMENT FEATURES OF CASCADE PROCESSES IN TECHNICAL SYSTEMS

Tararychkin I. A., Anisimov V. N.

Рассмотрены особенности развития каскадных процессов в механических системах. Показано, что возникновение самоподдерживающихся процессов связано с перераспределением внутренней энергии в сложной системе. Инициализация динамического процесса происходит за счёт внешнего воздействия, однако дальнейшее развитие событий определяется свойствами самой системы. Анализ, выполненный на основе энергетического баланса, показал, что для развития каскадного процесса необходимо выполнение ряда условий. Так, для последовательно расположенной группы механических элементов (юнитов) развитие процесса возможно только при определённых значениях коэффициента формы, а также при условии соблюдения ограничения на расстояния между ними. Определены условия, при выполнении которых в системе возможно протекание каскадных процессов, а также приведены рекомендации по их предотвращению.

Ключевые слова: система, юнит, каскадный процесс, энергия, баланс, элемент, равновесие.

Введение. Современные производственно-технические и транспортно-технологические системы представляют собой потенциально опасные инженерные объекты, состоящие из большого числа структурных элементов, сложным образом взаимодействующих между собой в условиях воспроизведения функционального эффекта. В режиме номинального функционирования отдельные элементы сложной системы в разные моменты времени могут находиться в разных состояниях, в том числе и неустойчивых, с дальнейшим управляемым переходом в устойчивое состояние.

Если такого рода переходы являются допустимыми и происходят в штатном режиме, то какой-либо опасности для функционирования системы они не представляют. В то же время известны случаи, когда в результате развития неуправляемых внутрисистемных процессов возникают различного рода инциденты, аварии, катастрофы [1, 2].

Анализ последних исследований и разработок. Авторы работ [3, 4] анализируют особенности протекания каскадных процессов в технических системах, а также причины их возникновения. Во многих случаях условия для возникновения аварийных каскадных процессов возникают из-за высокой плотности технологического оборудования на производственных участках, нарушения технологии выполнения работ, недостаточной квалификации персонала [5, 7]. Анализ особенностей поведения и определение условий, при соблюдении которых развитие каскадных процессов в технических системах оказывается возможным, представляет практический интерес.

Цель работы. Целью работы является определение условий, при выполнении которых возникновение и развитие каскадных процессов в механических системах оказывается возможным.

Материалы и результаты исследований. В дальнейшем при изучении каскадных процессов под юнитом понимается один из последовательно расположенных элементов системы, находящийся в устойчивом состоянии, однако способный при наличии внешних воздействий перейти в новое неустойчивое состояние.

Указанный переход связан с последующим перераспределением энергии в системе и сопровождается выходом из устойчивого состояния других структурных элементов, расположенных поблизости от рассматриваемого юнита.

Если на каждом этапе последовательного взаимодействия некоторой совокупности юнитов система изменяет своё состояние с одновременным выделением энергии, достаточной для поддержания процесса, то такой динамический процесс рассматривается как каскадный.

Определим условия, при выполнении которых возможно развитие каскадного процесса применительно к некоторой совокупности юнитов прямоугольной формы, расположенных на горизонтальной поверхности.

Предположим, что перед началом инициализации процесса юнит прямоугольной формы находится в состоянии равновесия, однако может быть выведен из этого состояния в результате внешнего воздействия. Далее происходит его падение и ударное взаимодействие с другим юнитом, расположенным поблизости. После завершения каскадного процесса в системе с некоторой совокупностью таких юнитов происходит

перераспределение внутренней энергии и переход системы в новое устойчивое состояние.

Пример юнита прямоугольной формы, находящегося на горизонтальной поверхности в устойчивом положении, приведен на рис. 1, а. На рис. 1, б показан тот же юнит, находящийся в неустойчивом положении после его наклона на угол α_0 .

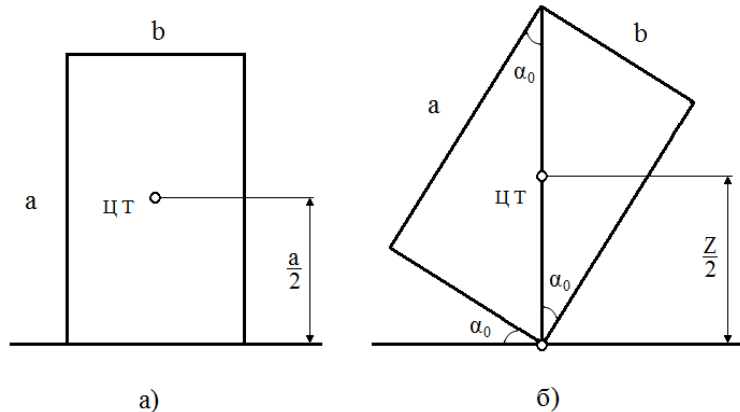


Рис. 1. Юнит прямоугольной формы, расположенный на горизонтальной плоскости (а) и наклонённый на угол α_0 (б)

В соответствии с данными рис. 1, а обозначим коэффициент формы юнита

$$\rho = \frac{b}{a},$$

тогда $\alpha_0 = \arctg \rho$.

Если падение юнита происходит из неустойчивого состояния, то его текущее положение характеризуется углом $0 < \varphi \leq \pi/2 - \alpha_0$ (рис. 2).

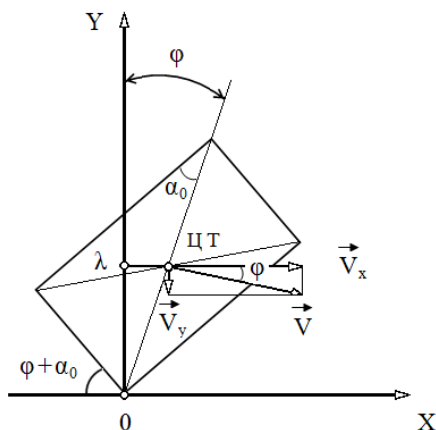


Рис. 2. Падение юнита массой m и динамические характеристики движения его центра тяжести

Предположим, что масса юнита сосредоточена в точке, соответствующей положению его центра тяжести (ЦТ), а $\vec{V}$ – это вектор скорости материальной точки массой m .

Поскольку: $V^2 = V_x^2 + V_y^2$, то кинетическая энергия юнита:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{mV_x^2}{2} + \frac{mV_y^2}{2},$$

или

$$E_k = E_x + E_y.$$

Здесь E_x – горизонтальная составляющая кинетической энергии, часть которой передаётся следующему юниту в процессе соударения. Используя обозначения, принятые на рис. 1, получим:

$$\frac{z}{2} = \frac{a}{2 \cdot \cos[\arctg \rho]}.$$

Далее с учётом обозначений, представленных на рис. 2:

$$\lambda = \frac{z}{2} \cdot \cos \varphi$$

или

$$\lambda(\varphi) = \frac{a \cdot \cos \varphi}{2 \cdot \cos[\arctg \rho]}.$$

Подъём центра тяжести юнита в случае его наклона на угол α_0 перед началом падения происходит на величину:

$$\Delta = \frac{a}{2} \left\{ \frac{1}{\cos[\arctg \rho]} - 1 \right\}.$$

Энергия, затрачиваемая на перевод юнита из устойчивого в неустойчивое состояние:

$$E_3 = \frac{mga}{2} \cdot \frac{1 - \cos[\arctg \rho]}{\cos[\arctg \rho]},$$

где g – ускорение свободного падения.

Тогда, потенциальная энергия, запасённая юнитом перед началом движения:

$$E_0 = mg \frac{z}{2} = \frac{mga}{2 \cdot \cos[\arctg \rho]}.$$

Потенциальная и кинетическая энергия юнита при развитии процесса:

$$E_n = mg \lambda = \frac{mga \cdot \cos \varphi}{2 \cdot \cos[\arctg \rho]},$$

$$E_k = \frac{mV^2}{2}.$$

Используя уравнение энергетического баланса:

$$E_0 = E_k + E_n,$$

получим

$$V(\varphi) = \sqrt{\frac{ga(1-\cos\varphi)}{\cos[\arctg\rho]}}.$$

Модуль горизонтальной составляющей скорости $\vec{V}_x$ при повороте юнита на угол φ (рис. 2):

$$V_x(\varphi) = \cos\varphi \sqrt{\frac{ga(1-\cos\varphi)}{\cos[\arctg\rho]}}.$$

Предположим, что при ударе предыдущий юнит передаёт следующему некоторую часть своей кинетической энергии:

$$E_x^* = \frac{mv_x^2\eta}{2} = \frac{mga\eta\cos^2\varphi}{2} \cdot \frac{1-\cos\varphi}{\cos[\arctg\rho]}.$$

Здесь $0 < \eta < 1$ – коэффициент, учитывающий эффект передачи части кинетической энергии следующему юниту в момент соприкосновения взаимодействующих поверхностей.

Очевидно, что дальнейшее развитие каскадного процесса становится возможным только при выполнении условия:

$$v = \frac{E_x^*}{E_3} \geq 1,$$

или

$$v = \frac{\eta \cdot \cos^2\varphi(1-\cos\varphi)}{1-\cos[\arctg\rho]}.$$

Поскольку самоподдерживающийся процесс возможен только для значений $v(\varphi, \rho) \geq 1$, то для принятого $\eta = 0,5$ необходимо найти корни уравнения $v(\varphi, \rho) = 1$.

Для заданного значения ρ углы $\varphi = \varphi_{MIN}$ и $\varphi = \varphi_{MAX}$, являющиеся корнями данного уравнения, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчётные характеристики каскадного процесса для юнитов с различными значениями коэффициента формы ρ

ρ	φ_{MIN}	φ_{MAX}	$\sin[\arctg\rho]$	$\left(\frac{P}{a}\right)_{MAX} - \left(\frac{P}{a}\right)_{MIN}$
0,05	0,071	1,47	0,05	0,879
0,10	0,142	1,465	0,10	0,761
0,15	0,216	1,408	0,148	0,643
0,20	0,292	1,345	0,196	0,530
0,25	0,373	1,277	0,243	0,420
0,30	0,463	1,198	0,287	0,312
0,35	0,571	1,101	0,33	0,203
0,40	0,744	0,937	0,371	0,066
0,406	0,794	0,888	0,376	0,032

Развитие каскадного процесса оказывается возможным для следующих значений угла φ :

$$\varphi_{MIN} \leq \varphi \leq \varphi_{MAX}.$$

Для значений $\varphi \geq \varphi_{MIN}$ развитие процесса возможно, поскольку энергии падающего юнита уже достаточно для его поддержания. Если же $\varphi \geq \varphi_{MAX}$, то протекание процесса невозможно, поскольку юниты уже не способны обмениваться энергией, достаточной для поддержания процесса.

Оценим теперь геометрические ограничения, связанные со взаимным расположением юнитов, обеспечивающие возможность развития процесса. Так, если исходное наклонное положение первого юнита соответствует началу каскадного процесса, то следующий юнит не может находиться на расстоянии, менее P_0 (рис. 3):

$$P_0 = a \cdot \sin[\arctg\rho].$$

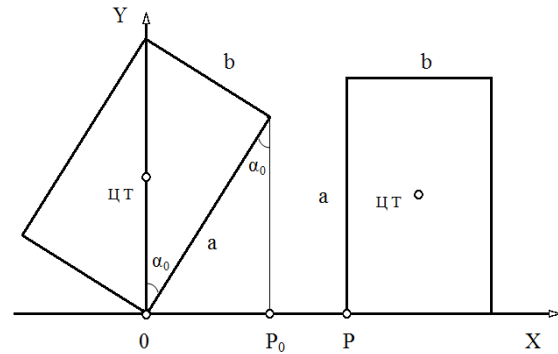


Рис. 3. Геометрические характеристики взаимного расположения двух юнитов

Тогда расстояние P до следующего юнита, в масштабе его высоты a не может быть меньше величины:

$$\frac{P}{a} \geq \sin[\arctg\rho].$$

Указанное неравенство определяет область значений ρ и $\frac{P}{a}$, для которой проведение дальнейшего анализа оказывается корректным (таб. 1).

Для установленных значений $\varphi_{MIN}(\rho)$ и $\varphi_{MAX}(\rho)$, приведенных в табл. 1, определим граничные значения $\frac{P}{a}$ по формулам:

$$\left(\frac{P}{a}\right)_{MIN} = \sin(\arctg\rho + \varphi_{MIN})$$

$$\left(\frac{P}{a}\right)_{MAX} = \sin(\arctg\rho + \varphi_{MAX}).$$

Кроме этого, определим величину интервала:

$$\left(\frac{P}{a}\right)_{MAX} - \left(\frac{P}{a}\right)_{MIN},$$

в границах которого развитие каскадного процесса оказывается возможным (табл. 1).

Графики зависимостей $\left(\frac{P}{a}\right)_{MAX}$ и $\left(\frac{P}{a}\right)_{MIN}$ от коэффициента формы ρ для принятого значения $\eta = 0,5$ приведены на рис. 4.

Видно, что диапазон допустимых расстояний между соседними юнитами:

$$\left(\frac{P}{a}\right)_{MAX} - \left(\frac{P}{a}\right)_{MIN}$$

непрерывно сужается по мере роста значений ρ . При этом существует некоторое пороговое значение коэффициента формы $\rho = \rho^*$, при превышении которого развитие каскадного процесса становится принципиально невозможным из-за формы юнита, которая обеспечивает его высокую устойчивость.

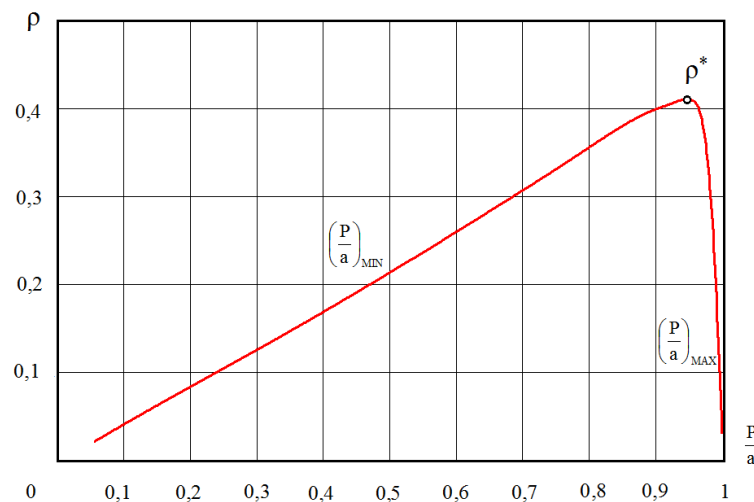


Рис. 4. Взаимосвязь коэффициента формы юнита с граничными значениями $\frac{P}{a}$, определяющими условия возникновения каскадного процесса

Выводы. 1. Условием развития каскадного процесса в системе с некоторой последовательностью юнитов является наличие внешнего воздействия, достаточного для вывода из состояния равновесия отдельного юнита, а также способность других юнитов к дальнейшему взаимодействию с перераспределением внутренней энергии, обеспечивающей протекание самоподдерживающегося процесса.

2. Коэффициент формы $0 < \rho < 1$ характеризует исходную устойчивость юнита и его способность противостоять процессу опрокидывания. При этом для значений ρ , превышающих некоторую величину ρ^* , развитие каскадного процесса в системе оказывается принципиально невозможным из-за высокой устойчивости юнитов.

3. Для пары юнитов, находящихся в устойчивом состоянии и потенциально способных участвовать в развитии каскадного процесса, существует некоторое минимальное расстояние, при котором возникновение самоподдерживающегося процесса ещё невозможно из-за недостатка выделяющейся энергии. Кроме того, существует и некоторое максимальное расстояние, при достижении которого развитие процесса становится уже невозможным из-за неспособности следующего юнита получить достаточную энергию при ударе.

Это означает, что для развития каскадного процесса расстояние между последовательно расположенными юнитами не обязательно должно быть одинаковым. Важно лишь, чтобы это расстояние находилось в некотором допустимом интервале значений, границы которого зависят от формы юнитов и особенностей их взаимодействия.

4. С уменьшением коэффициента формы ρ диапазон допустимых расстояний между юнитами, обеспечивающих возможность инициализации и последующего протекания каскадного процесса, расширяется.

Л и т е р а т у р а

1. Азаров Н.И., Давидюк О.В., Кошовец Н.В., Лисанов М.В. Анализ возможности каскадного развития аварии на пожаровзрывоопасных объектах. – Безопасность труда в промышленности. – № 5. – 2007. – С. 42-47.
2. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. – М.: Издательство Юрайт, 2014. – 728 с.
3. Пантелеев В.А., Кириллов И.А. Метод описания каскадных и межсистемных аварий с учётом вероятностных факторов. – Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. Научный информационный сборник, – № 5. – 2019. – С. 53-61.
4. Бруслиновский А.Ю., Самигуллин Г.Х. Анализ возможностей каскадного развития аварий на объектах нефтегазовой отрасли. – Материалы международной научно-практической конференции. – СПб, 28.10.2021. – С.430-433.
5. СТО Газпром 2-2.3-569-2011. Методическое руководство по расчёту и анализу рисков при эксплуатации объектов производства, хранения и морской транспортировке сжиженного и сжатого природного газа, 2011. – 111 с.
6. СТО Газпром 2-1.1-356-2009. Методические указания по повышению устойчивости технологического оборудования производственных объектов предприятий ОАО «Газпром» к воздействию пожаров и взрывов и предотвращению каскадных эффектов, 2009. – 90 с.
7. Steven M. Rinaldi, James P. Peerenboom, Terrence K. Kell. Critical Infrastructure Interdependencies // IEEE Control Systems Magazine, December 2001, p. 11-25.

Tararychkin I.A., Anisimov V.N.

CONDITIONS OF OCCURRENCE AND DEVELOPMENT FEATURES OF CASCADE PROCESSES IN TECHNICAL SYSTEMS

The features of the development of cascade processes in mechanical systems are considered. It is shown that the emergence of self-sustaining processes is associated with the redistribution of internal energy in a complex system. The

initialization of the dynamic process occurs due to external influence, but the further development of events is determined by the properties of the system itself. The analysis performed on the basis of the energy balance showed that a number of conditions must be met for the development of the cascade process. Thus, for a sequentially arranged group of mechanical elements (units), the development of the process is possible only with certain values of the shape coefficient, as well as subject to the restriction on the distance between them. The conditions under which cascade processes may occur in the system are determined, and recommendations for their prevention are given.

Key words: system, unit, cascade process, energy, balance, element, equilibrium.

Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: donbass_8888@mail.ru

Tatarychkin Igor, Dr. Sci. (Eng.) professor, head of the «Transport Technologies» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Анисимов Василий Николаевич, ведущий инженер кафедры «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: anisimov.basil@mail.ru

Anisimov Vasily, lead engineer of the «Transport Technologies» Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Нечаев Григорий Иванович, д.т.н., профессор кафедры «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Статья подана 27.04.2023

УДК 681.325.5-181.4:629-424.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭКИПАЖНОЙ ЧАСТИ ЛОКОМОТИВОВ

Тасанг Э. Х., Быкадоров В. В., Воронов О. В., Ключев А. С., Коструб О. М.

SIMULATION OF DYNAMIC PROCESSES OF THE CREW LOCOMOTIVE PARTS

Tasang E. H., Bykadorov V. V., Voronov O. V., Klyuev A. S., Kostrub O. M.

В данной статье рассмотрены теоретические исследования динамики экипажной части при движении тепловозов в режимах тяги, выбега и буксовании колёсных пар. Приведены примеры расчета на алгоритмическом языке JavaScript в HTML. Предложено математическую модель локомотива с составом получать из отдельных динамических упруго-диссипативно связанных масс, помещенных в подготовленную библиотеку по типу конструктора. Приведенные результаты позволяют получить данные для рационального выбора конструктивных параметров тяговых передач проектируемых и модернизируемых тепловозов.

Ключевые слова: масса, упруго-диссипативная связь, динамика, программный пакет.

Введение. На стадии проектирования современных локомотивов важно прогнозировать их динамических качества. В настоящее время эта проблема решается, как правило, методом математического моделирования на ЭВМ, так как экспериментальное сравнение различных конструкций весьма затруднено из-за сложности обеспечения идентичных условий испытаний.

Таким образом, создание более эффективных и простых в обращении программных продуктов для расчета динамических процессов в элементах локомотива при движении с составом представляет собой весьма важную и актуальную научно-производственную задачу.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследованию ходовой динамики локомотивов посвящено значительное количество публикаций [1-10].

Использование существующих моделей передач мощности в качестве аппарата для исследовательских целей затруднено в силу того, что они, как правило, сложны, применимы к какому-то одному типу локомотива и чаще всего связаны с номинальным режимом работы энергетической установки [3, 5]. Однако сведений о том, как ведёт себя передача в других режимах, в частности при

трогании и разгоне тепловоза с составом, где реализуются большие тяговые усилия, проявляется значительное проскальзывание колёс относительно рельсов, крайне недостаточно.

На кафедре «Железнодорожный транспорт» ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет им. В. Даля» разработан и в настоящее время совершенствуется программный пакет на алгоритмическом языке JavaScript в HTML для исследования ходовой динамики локомотивов.

Изложение основных материалов. Если рассмотреть экипажную часть тепловоза, рессорное подвешивание первой и второй ступеней, то можно ее разбить на отдельные элементы, состоящие из массы с упруго-диссипативным соединением и возмущающих воздействий (например, неровности пути). Из таких элементов можно получить математические модели более сложной структуры.

Упрощенная модель вертикальных колебаний рельсовых экипажей с двухъярусным подвешиванием: магистральных локомотивов (электровозов и тепловозов) и пассажирских вагонов будет представлять собой двухмассовую систему, в которой массы связаны упругими и диссипативными связями. Первая масса соответствует части кузова, вторая – части тележки, приходящиеся на один колесно-моторный блок.

Исходя из этих рассуждений представим универсальный элемент (рис. 1).

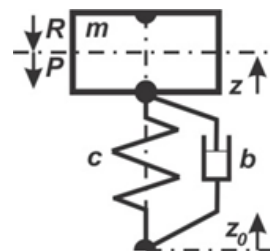


Рис. 1. Расчетная схема универсального элемента

$$\begin{aligned} R_n &= b_n(v_{z,n} - v_{z,n-1}) + c_n(z_n - z_{n-1}) \\ \dot{z}_n &= v_{z,n} \\ \dot{v}_{z,n} &= -1/m_n(R_n - R_{n+1} + P_n) \end{aligned} \quad (1)$$

где z – вертикальное перемещение; m – масса; b – демпфирование (коэффициент диссипации); c – жесткость; P – внешняя сила от веса массы (со знаком минус, т.к. направлена против положительного направления перемещения z); R – реакция связи или внешнее воздействие; v – вертикальная скорость.

В (1) индекс n соответствует данной массе m , $n-1$ – для массы элемента, который соединен с данным элементом снизу, а $n+1$ – сверху.

Каждому добавленному элементу из библиотеки соответствуют уравнения типа (1). Такое построение динамической системы упрощает формирование итоговой системы дифференциальных уравнений.

Работа программной оболочки построена по принципу контекстного меню по двойному клику левой кнопки мыши на рабочем поле или элементе.

Сохранение, загрузка готовой расчетной схемы организовано посредством ярлыкового меню, расположенного над рабочим полем, назначение ярлыков интуитивно понятно и сопровождается всплывающими подсказками. Расчет, построение графиков переходных процессов выбирается двойным кликом на элементе или их группе после объединения элементов.

На рис. 2 приведена библиотека простых элементов и элементов, объединенных в группу. Наличие на элементах затухающей полукруглости в верхней части означает, что этот элемент может быть объединен с другим элементом только сверху, а в нижней его части – снизу. Это означает, что при наличии полукруглостей сверху и снизу на этот элемент будет воздействовать реакция от верхнего элемента, а на его упруго-диссипативную связь будет воздействовать перемещение и скорость перемещения нижнего элемента.

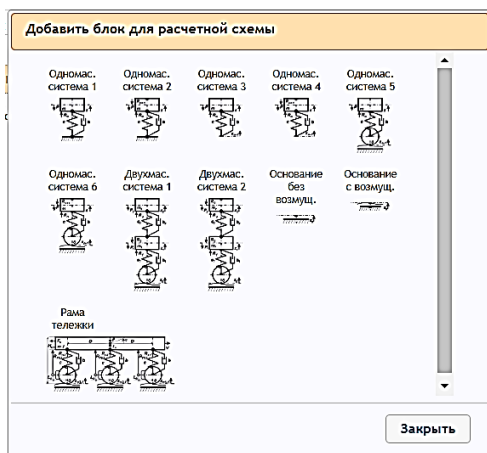


Рис. 2. Фрагмент библиотеки элементов

При двойном клике левой кнопки мыши на элементе или сгруппированных элементах контекстное меню позволяет изменить параметры элементов, вернуть их параметры, установленные по умолчанию, параметры расчета, произвести расчет системы с построением 1-го и 2-го графиков, удалить блок и закрыть контекстное меню. На рис. 3 приведено контекстное меню для блока упрощенной модели вертикальных колебаний рельсовых экипажей с двухъярусным подвешиванием, а на рис. 4 – диалоговое окно для изменения его параметров.



Рис. 3. Контекстное меню для двух масс и возмущающего воздействия (упрощенная модель вертикальных колебаний рельсовых экипажей с двухъярусным подвешиванием)

Параметры блока 1

Блок 1: "2-х массовая система"

Масса, Т:

m1: 11.5

m2: 8.82

Жесткость связи, кН/м:

c1: 2600

c2: 7000

Демпфирование, кН·с/м:

b1: 125

b2: 60

Возмущающее воздействие:

Амплитуда, м:

A: 0.005

Длина неровности, м:

L: 25

Скорость движения, м/с:

V: 20

Начальные условия:

z1(0): 0

v1(0): 0

z2(0): 0

v2(0): 0

Исх. с:

2

Масса n=1

$R_n = b_n(v_{z,n} - v_{z,n-1}) + c_n(z_n - z_{n-1})$
 $R_{n+1} = 0$
 $\dot{z}_n = v_{z,n}$
 $\dot{v}_{z,n} = -1/m_n(R_n - R_{n+1} + P_n)$

Масса n=2

$R_n = b_n(v_{z,n} - v_{z,n-1}) + c_n(z_n - z_{n-1})$
 $\dot{z}_n = v_{z,n}$
 $\dot{v}_{z,n} = -1/m_n(R_n - R_{n+1} + P_n)$

Возмущение для массы 2

$z_0(t) = A \sin(2\pi V t / L)$
 $v_{z0}(t) = A 2\pi V / L \cos(2\pi V t / L)$

Применить

Закрыть

Рис. 4. Диалоговое окно для изменения параметров блока упрощенной модели вертикальных колебаний рельсовых экипажей с двухъярусным подвешиванием

При выборе пункта контекстного меню для построения одного из графиков необходимо указать курсором мыши его местоположение левого верхнего угла (рис. 4). При этом на графике отображаются перемещения и скорости перемещения каждой из масс, входящих в сгруппированный блок, и возмущающего воздействия (рис. 5).

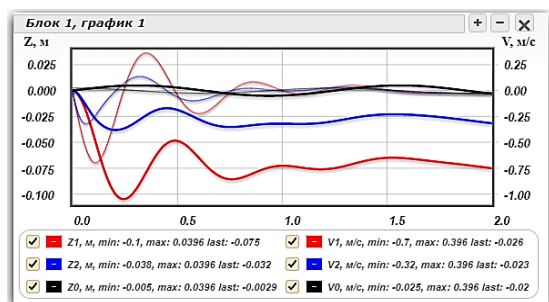


Рис. 5. Динамика масс блока упрощенной модели вертикальных колебаний рельсовых экипажей с двухъярусным подвешиванием

При большой загруженности графика часть переменных можно не отображать, убрав соответствующие галочки внизу графика, и отобразить их на втором графике, как показано на рис. 6.

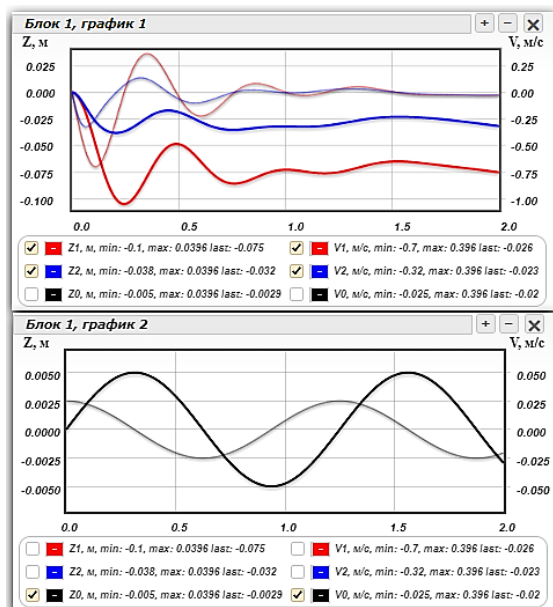


Рис. 6. Динамика масс блока упрощенной модели вертикальных колебаний рельсовых экипажей с двухъярусным подвешиванием на двух графиках

Выводы. 1. Разработана программная оболочка для расчета динамики рельсовых экипажей на алгоритмическом языке JavaScript в HTML, что предполагает работу программы на любом компьютере без использования установленных специализированных программных пакетов.

2. Принцип работы программы заключается в формировании расчетной схемы моделей путем перетаскивания простых динамических элементов из окна предварительно подготовленной библиотеки.

3. Программа предназначена для исследования динамика экипажной части локомотива в различных режимах (тяги, выбега, при возмущающих воздействиях со стороны пути) как при проектировании, так и в учебных целях.

Л и т е р а т у р а

1. Михальченко Г.С., Погорелов Д.Ю., Коссов В.С. Автоматизированный комплекс DYNLOG для исследования ходовой динамики рельсовых экипажей // Сб. трудов 4-й Международной научно-технической конференции. Брянск. Изд-во БГТУ. – 2001.
2. Старостин С.С. Дискретная динамическая модель и регулирование состояния электромеханической системы с упругими связями // Сб. научн. трудов Дон ДТУ. – 2002. – Вып. 41. – С. 164-167.
3. Воронько В.А. Математическая модель движения маневрового тепловоза. Моск. гос. ун-т путей сообщ. М.: 2001, 12. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 07.11.2001, №6339 – ж.д. – 2001.
4. Oldrich P. Rad-Schiene-Modelle in der Simulation der Fahrzeug und Antriebsdynamik. Ellek. Bahen. 2001.– 99. – № 5. – р. 219-230.
5. Загорский М.В., Никифоров Н.И. Прогнозирование тяговых качеств на стадии проектирования экипажной части локомотива // Сб. научн. трудов. Брянский гос. техн. ун-т. Брянск: Изд-во БГТУ. – 2000. – С. 16-22.
6. Микитенко А.Г., Плохов Е.М., Загирьян А.А. и др. Математическое моделирование динамики электровозов / Под ред. А.Г.Никитенко. – М.: Высшая школа, 1998. – 274 с.
7. Блохин Е.П., Манашкин Л.А. Динамика поезда. – М.: Транспорт, 1982. – 222 с.
8. Демин Ю.В., Длугач Л.А., Коротенко М.Л. и др. Автоколебания и устойчивость движения рельсовых экипажей. – К.: Наук. думка, 1984. – 159 с.
9. Моделирование нестационарных процессов движения локомотивов / Е.Н. Шапран, Э.Х. Тасанг, Ю.Э. Ладик, Е.В. Михайлов // Вестник РГУПС. – 2007. – № 2. – С. 28-34.
10. Исследование влияния динамики процессов в колесно-моторном блоке на тяговые качества тепловоза / Э.Х. Тасанг, О.В. Воронов // РНТЖ Наука и техника транспорта (МИИТ). – 2018. – № 1. – С. 28-33.

Tasang E.H., Bykadorov V.V., Voronov O.V., Klyuev A.S., Kostrub O.M.

SIMULATION OF DYNAMIC PROCESSES OF THE CREW LOCOMOTIVE PARTS

This article discusses theoretical studies of the dynamics of electric transmission during the movement of diesel locomotives in the modes of traction, run-out and slipping of wheel sets. Examples of calculation in MathCad and algorithmic language JavaScript in HTML are given. It is proposed to obtain a mathematical model of a locomotive with a composition from separate dynamic elastically-dissipatively connected masses placed in a prepared library as a constructor. The results presented allow obtaining data for the rational choice of design parameters of traction gears, designed and modernized diesel locomotives.

Key words: mass, elastic-dissipative coupling, dynamics, software package.

Тасанг Эрик Хельмутович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: tasang24055@mail.ru

Tasang Erik, senior lecturer of the Department «Railway transport» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Быкадоров Вадим Викторович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: bykadorov19.09@mail.ru

Bykadorov Vadim, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Railway Transport of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Воронов Олег Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Социально-гуманитарные естественно-научные и общепрофессиональные дисциплины» Филиала РГУПС в г. Воронеж.
E-mail: vov12061961@yandex.ru

Voronov Oleg, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Social and Humanitarian Natural Sciences and General Professional Disciplines of the Branch of the RSTU in Voronezh.

Клюев Александр Семёнович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».
E-mail: aklyev1954@gmail.com

Klyuev Alexander, senior lecturer of the Department «Railway transport» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Kostrub Olga, senior lecturer of the Department «Railway transport» of FSBEI HE «Lugansk Vladimir Dahl State University».

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, д.т.н., проф., заведующий кафедрой автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 04.05.2023

УДК 629.424.1.4

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЛОКОМОТИВА С СОСТАВОМ**Тасанг Э. Х., Ключев А. С., Иванова Е. И., Мокшина О. В., Собко В. А.****MATHEMATICAL MODEL OF LOCOMOTIVE MOTION WITH COMPOSITION****Tasang E. H., Klyuev A. S., Ivanova E. I., Mokshina O. V., Sobko V. A.**

В данной статье рассмотрены теоретические исследования динамики электрической передачи при движении тепловозов в режимах тяги, выбега и буксовании колёсных пар. Приведенные результаты позволяют получить данные для рационального выбора конструктивных параметров тяговых передач, проектируемых и модернизируемых тепловозов.

Ключевые слова: динамика электрической передачи, тепловоз, тяговая передача, математическая модель, колебания, дифференциальное уравнение, коэффициент, SIMULINK.

Постановка проблемы. На стадии проектирования современных локомотивов важно прогнозировать их динамические качества. В настоящее время эта проблема решается, как правило, методом математического моделирования на ЭВМ, так как экспериментальное сравнение различных конструкций весьма затруднено из-за сложности обеспечения идентичных условий испытаний.

Анализ последних достижений и публикаций. Учёными разработаны достаточно полные имитационные модели, позволяющие изучить динамику взаимодействия электропередачи с экипажной частью локомотива и пути [1-8, 11, 13, 14]. Так, например, с учётом ряда допущений, принимаемых при моделировании, разработана математическая модель процесса буксования локомотива [3]. Однако она имеет ряд недостатков, приводящих к снижению точности прогнозирования. Во-первых, при расчёте скорости скольжения колёсной пары не учитывается влияние продольно-динамических усилий в поезде. Во-вторых, недостаточно обоснованы критерии сравнения тяговых свойств локомотивов.

В ряде случаев исследования динамики тягового привода выполняются обособлено, в основном изучаются крутильно-вертикальные колебания колёсно-моторного блока при движении локомотива на прямых участках пути [12]. Значительным шагом в моделировании динамики электропередач при движении локомотива в режиме тяги являются работы, выполненные группой

учёных ВЭЛНИИ (г. Новочеркасск). Эти исследования обобщены в монографии [13]. Авторы рассматривают модель всего локомотива, учитывая электромеханические характеристики различных типов двигателей (постоянного тока, вентильных и асинхронных), однако исследования ограничены изучением пространственных колебаний экипажной части электровозов при движении на прямых участках пути.

Использование существующих моделей передач мощности в качестве аппарата для исследовательских целей затруднено в силу того, что они, как правило, сложны, применимы к какому-то одному типу локомотива и чаще всего связаны с номинальным режимом работы энергетической установки [5, 9]. Однако сведений о том, как ведёт себя передача в других режимах, в частности, при трогании и разгоне тепловоза с составом, где реализуются большие тяговые усилия, проявляется значительное проскальзывание колёс относительно рельсов, крайне недостаточно.

Формулировка целей статьи. Исходя из проведенного анализа и обобщения результатов, теоретических и экспериментальных исследований, разработана математическая модель электропередачи мощности тепловоза на основе интерактивного инструмента для моделирования SIMULINK, интегрированного в математический пакет MATLAB. При этом блочный принцип построения модели позволил упростить понимание процессов, протекающих в системе, и идти от простого к сложному, собирая модель из ранее отлаженных и апробированных блоков исследуемой системы.

Изложение основного материала. Математическая модель электропередачи тепловоза представлена в виде нескольких функциональных блоков, таких как:

1. Математическая модель электрических переходных процессов в цепях якорей тяговых электродвигателей (ТД), питающихся от тягового генератора (ТГ) или выпрямительной установки (ВУ).

2. Математическая модель механических процессов, связанных с передачей крутящего момента от якоря тягового электродвигателя через зубчатый редуктор к оси колёсной пары с учетом характеристики сцепления колёс с рельсами и поосных от сил тяжести и динамических нагрузок.

3. Математическая модель процессов движения локомотива с составом, учитывающая все виды динамического сопротивления движению поезда и продольно-динамические усилия между вагонами.

Электрические переходные процессы в цепи якоря тягового двигателя описываются известным дифференциальным уравнением:

$$L_{\text{я}} \cdot \frac{di_{\text{я}}}{dt} = U_{\text{ВУ}}(i_{\text{ВУ}}) - i_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} - e(i_{\text{В}}) - U_{\text{Щ}}, \quad (1)$$

где $i_{\text{я}}$ – ток якорной цепи, А; $U_{\text{ВУ}}(i_{\text{ВУ}})$, $U_{\text{Щ}}$ – напряжения питания якорной цепи и падение напряжения на щеточном аппарате, В; $R_{\text{я}}$, $L_{\text{я}}$ – суммарное сопротивление, приведенное к рабочей температуре, и суммарная индуктивность якорной обмотки и обмотки возбуждения, Ом, Гн, $e(i_{\text{В}})$ –

ЭДС обмотки якоря, В. При этом необходимо учесть, что напряжение питания якорной цепи $U_{\text{ВУ}}(i_{\text{ВУ}})$ задаётся в функции тока якоря тягового генератора или выпрямительной установки $i_{\text{ВУ}}$ в соответствии с внешней характеристикой, приведенной на рис 1.

Кроме того, величина электродвижущей силы якоря $e(i_{\text{В}})$ определяется по известным нагрузочным характеристикам тяговых электродвигателей (рис. 2) из такой зависимости:

$$e(i_{\text{В}}) = k \cdot \Phi(i_{\text{В}}) \cdot \omega_{\text{ТД}} = \left(\frac{E}{\omega_{\text{ТД}}} \right) \cdot \omega_{\text{ТД}},$$

где $k = \frac{pN}{2\pi a}$ – конструктивная постоянная обмотки якоря; p – число пар полюсов; N – число активных проводников обмотки; a – число параллельных ветвей обмотки якоря; $\omega_{\text{ТД}}$ – частота вращения якоря, рад/с; $\Phi(i_{\text{В}})$ – магнитный поток, Вб; $i_{\text{В}}$ – ток в обмотке возбуждения тягового двигателя, А.

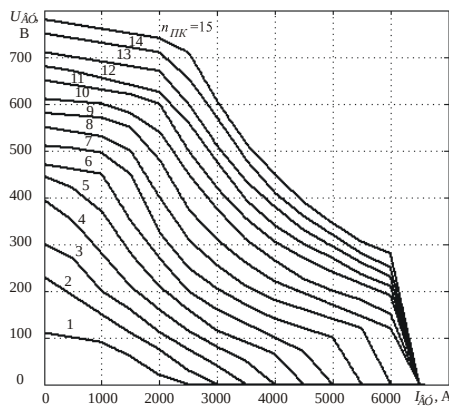


Рис. 1. Внешняя характеристика тягового генератора на выходе выпрямительной установки

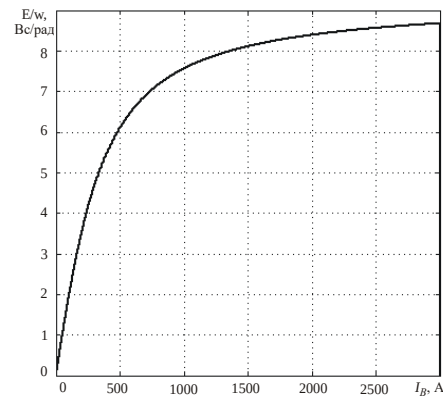


Рис. 2. Характеристика намагничивания тягового электродвигателя

Дифференциальное уравнение вращения якоря тягового электродвигателя запишем в таком виде:

$$J_{\text{КП}} \frac{d\omega_{\text{ТД}}}{dt} = M_{\text{ЭМ}} - M_0 - M_{\text{С}}, \quad (2)$$

где $J_{\text{КП}}$ – суммарный момент инерции якоря электродвигателя, тягового редуктора и колёсной пары, приведенный к валу двигателя, кгм²; $M_{\text{ЭМ}}$, M_0 , $M_{\text{С}}$ – электромагнитный момент, момент суммарных потерь в тяговом двигателе и суммарный момент сопротивления, Нм.

В свою очередь электромагнитный момент $M_{\text{ЭМ}}$ и суммарный момент сопротивления можно описать следующими зависимостями:

$$M_{\text{ЭМ}} = k\Phi(i_{\text{В}})i_{\text{я}} = \left(\frac{E}{\omega_{\text{ТД}}} \right) \cdot \omega_{\text{ТД}} \cdot i_{\text{я}};$$

$$M_{\text{С}} = \frac{1}{\mu_{\text{ЗП}}} \left(F_{\text{сц}} \frac{D_{\text{К}}}{2} + W_{\text{КП}} \right); \quad F_{\text{сц}} = G\psi_{\text{сц}}(V_{\text{СК}}),$$

где $\mu_{\text{ЗП}}$ – коэффициент передачи зубчатого редуктора; $D_{\text{К}}$ – диаметр колеса, м; $F_{\text{сц}}$ – сила

сцепления колеса с рельсом, Н; $W_{\text{КП}}$ – момент трения в буксовых подшипниках, Нм; G – нагрузка на ось колёсной пары, Н; $\psi_{\text{сц}}(V_{\text{СК}})$ – коэффициент сцепления колеса с рельсом.

Обычно считают, что коэффициент сцепления $\psi_{\text{сц}}(V_{\text{СК}})$ является функцией скорости скольжения колеса относительно рельса (рис. 3), которое определяется по следующей зависимости:

$$V_{\text{СК}} = V_{\text{КП}} - V_{\text{П}} = \frac{D_{\text{К}}}{2\mu_{\text{ЗП}}} \omega_{\text{ТД}} - V_{\text{П}}, \quad \text{где } V_{\text{КП}}, V_{\text{П}} -$$

линейная скорость колесной пары по кругу катания и скорость движения поезда, м/с.

Для определения момента M_0 необходимо учесть суммарные потери мощности в ТД постоянного тока P_{Σ} , которые складываются из потерь в меди (электрические потери $P_{\text{эл}}$), в переходном сопротивлении контакта щёток $P_{\text{п}}$, потерь в стали $P_{\text{с}}$, добавочных потерь $P_{\text{д}}$ и механических потерь $P_{\text{мх}}$:

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma L} + P_{II} + P_C + P_D + P_{MX}.$$

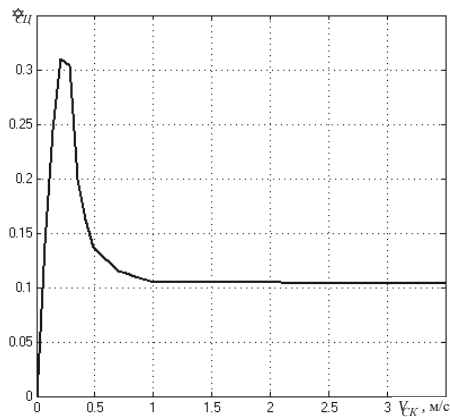


Рис. 3. Изменение коэффициента сцепления от скорости скольжения

Электрические потери определяются по таким зависимостям: $P_{\Sigma L} = i_{\Sigma}^2 \cdot R_{\Sigma}$; $P_{II} = U_{II} \cdot i_{\Sigma}$; $R_{\Sigma} = R_{\Sigma} + \alpha R_B + R_{ДП}$, где R_{Σ} , R_{Σ} , R_B , $R_{ДП}$ — соответственно суммарное сопротивление цепи якоря, последовательной обмотки возбуждения и дополнительных полюсов; α — коэффициент ослабления поля ТД.

Потери в стали P_c включают потери на гистерезис и вихревые токи. Эти потери пропорциональны частоте перемагничивания f , зависящей от частоты вращения якоря ТД, и пропорциональны квадрату магнитного потока в статоре и зубцах якоря. Их можно определить по

такой зависимости: $P_c = P_c^H \left(\frac{\omega_{ТД}}{\omega_{ТД}^H} \right)^{1,5} \left(\frac{\Phi}{\Phi^H} \right)^2$, где

$\omega_{ТД}^H, \Phi^H$ — номинальные значения частоты

вращения якоря и магнитного потока ТД; P_c^H — номинальное значение потерь в стали.

Добавочные потери P_D в ТД возникают при нагрузке. Это потери от вихревых токов в меди обмоток (коммутационные и от поперечного пазового поля), а также потери в стали, вызванные искажением магнитного поля реакцией якоря и вследствие пульсации основного магнитного потока из-за зубчатости якоря. Они составляют небольшую величину, и в номинальном режиме работы ТД их можно определить из такой зависимости:

$P_D = K_D P_C$, где K_D — коэффициент добавочных потерь, зависящий от относительного тока двигателя $K_D = f \left(\frac{i_{\Sigma}}{i_{\Sigma}^H} \right)$. Для тяговых двигателей

типа ЭД108, ЭД118, ЭД126 всех типоразмеров для практических расчётов добавочные потери

можно определить так: $P_D = \left(0,2 + 0,08 \frac{i_{\Sigma}}{i_{\Sigma}^H} \right) \cdot P_C$.

Механические потери в ТД состоят из потерь на трение якоря в подшипниках и вентиляционных потерь P_B , а также потерь на трение щёток о коллектор $P_{ТР}$. Обычно их определяют из такой зависимости:

$$P_{MX} = P_B + P_{ТР} \approx 0,002 P_H + K_{MX} \omega_{ТД},$$

где $K_{MX} = 0,5 S_{щ} P_{щ} f_{ТР} D_{КОЛ}$ — коэффициент механических потерь; $D_{КОЛ}$ — диаметр коллектора, $S_{щ}$ — давление на щётку; $f_{ТР}$ — коэффициент трения щёток о коллектор.

Обычно для тепловозных тяговых электродвигателей можно принять, что $K_{MX} = 10,8$. Тогда момент суммарных потерь в тяговом двигателе будет равен:

$$M_0 = \frac{1}{\omega_{ТД}} \left\{ i_{\Sigma}^2 R_{\Sigma} + \Delta U_{II} \cdot i_{\Sigma} + P_c^H \left(1,2 + 0,08 \frac{i_{\Sigma}}{i_{\Sigma}^H} \right) \left(\frac{\omega_{ТД}}{\omega_{ТД}^H} \right)^{1,5} \left(\frac{\Phi}{\Phi^H} \right)^2 + 0,002 U^H i_{\Sigma} + K_{MX} \omega_{ТД} \right\}.$$

Математическое моделирование процессов движения локомотива с составом заключается в решении следующих дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} m_{II} \frac{dV_{II}}{dt} &= [G_1 \psi_{K1}(V_{II}, V_{CK1}) + \dots + G_m \psi_{Km}(V_{II}, V_{CKm})] - W_{II} - R_0; m_1 \frac{dv_1}{dt} = R_0 - R_1 - W_1(v_1); \dots \\ \dots m_{N-1} \frac{dv_{N-1}}{dt} &= R_{N-2} - R_{N-1} - W_{N-1}(v_{N-1}); m_N \frac{dv_N}{dt} = R_{N-1} - R_N - W_N(v_N); \end{aligned} \quad (3)$$

где $W_{II} = W' m_{II} + (W'' + ig) m_c$; $V_{II}, V_1 \dots V_n \dots V_N$ — скорость движения локомотива и n-го вагона, м/с; $G_1 \dots G_m$ — осевые нагрузки m колёсных пар, Н; $\psi_{K1} \dots \psi_{Km}$ — коэффициенты сцепления каждой колёсной пары; $W_{II}, W_1 \dots W_n \dots W_N$ — сила сопротивления движению локомотива и n-го вагона, Н; $R_0, R_1 \dots R_n \dots R_N$ — сила динамического взаимодействия на автосцепном устройстве

локомотива и n-го вагона, Н; m_{II}, m_c — массы локомотива и состава, кг; i — уклон в промилле.

Как известно, удельное значение сопротивления движению зависит от типа подвижного состава и пути и выбирается согласно правилам тяговых расчётов для поездной работы [12]. Исходя из вышеизложенного, можно записать следующую систему уравнений для моделирования процессов, происходящих в электропередаче при движении локомотива с составом:

$$\begin{aligned}
 i_{BY} &= i_{Я1} + i_{Я2} + \dots + i_{Я6}; \quad i_{B1} = \alpha \cdot i_{Я1}; \quad \dots \quad i_{B6} = \alpha \cdot i_{Я6}; \\
 U_{BY}(i_{BY}) &= U_d(i_{BY}, n_{ПК}); \quad e(i_{B1}) = \frac{E}{\omega(i_{B1})} \cdot \omega_{ТД1}; \quad \dots \quad e_6(i_{B6}) = \frac{E}{\omega(i_{B6})} \cdot \omega_{ТД6}; \\
 L_{Я} \cdot \frac{di_{Я1}}{dt} &= U_{BY}(i_{BY}) - i_{Я1} \cdot R_{Я} - e(i_{B1}) - 2; \quad \dots L_{Я} \cdot \frac{di_{Я6}}{dt} = U_{BY}(i_{BY}) - i_{Я6} \cdot R_{Я} - e(i_{B6}) - 2; \\
 M_{ЭМ1} &= \frac{E}{\omega(i_{B1})} \cdot i_{Я1}; \quad \dots M_{ЭМ6} = \frac{E}{\omega(i_{B6})} \cdot i_{Я6}; \quad F_{CЦ1} = G_1 \cdot g \cdot \psi(V_{CK1}); \quad \dots F_{CЦ6} = G_6 \cdot g \cdot \psi(V_{CK6}); \\
 M_{C1} &= \frac{D_K}{2 \cdot \mu_{3П}} \cdot F_{CЦ1} + W_{КП}; \quad \dots M_{C6} = \frac{D_K}{2 \cdot \mu_{3П}} \cdot F_{CЦ6} + W_{КП}; \\
 V_{CK1} &= \frac{D_K}{2 \cdot \mu_{3П}} \cdot \omega_{ТД1} - V_{П}; \quad \dots V_{CK6} = \frac{D_K}{2 \cdot \mu_{3П}} \cdot \omega_{ТД6} - V_{П}; \\
 J_{КП} \cdot \frac{d\omega_{ТД1}}{dt} &= M_{ЭМ1} - M_{C1}; \quad \dots J_{КП} \cdot \frac{d\omega_{ТД6}}{dt} = M_{ЭМ6} - M_{C6}; \\
 m_{П} \cdot \frac{dv_{П}}{dt} &= F_{CЦ1} + \dots + F_{CЦ6} - W_{П}(v_{П}) - R_0, \\
 m_1 \frac{dv_1}{dt} &= R_0 - R_1 - W_1(v_1); \quad \dots m_{N-1} \frac{dv_{N-1}}{dt} = R_{N-2} - R_{N-1} - W_{N-1}(v_{N-1}); \quad m_N \frac{dv_N}{dt} = R_{N-1} - R_N - W_N(v_N);
 \end{aligned}$$

где $U_d(i_{BY}, n_{ПК})$ – напряжение на выходе выпрямительной установки в зависимости от тока, потребляемого от нее, и позиции контроллера машиниста $n_{ПК}$.

На основе приведенных уравнений в интерактивной среде SIMULINK разработана блок-схема математической модели электропередачи

(см. рис. 4), состоящая из нескольких функциональных подсистем.

На рис. 5 приведены результаты расчёта переходных процессов в электропередаче при трогании и разгоне локомотива с составом массой 4480 т, состоящего из 56 вагонов.

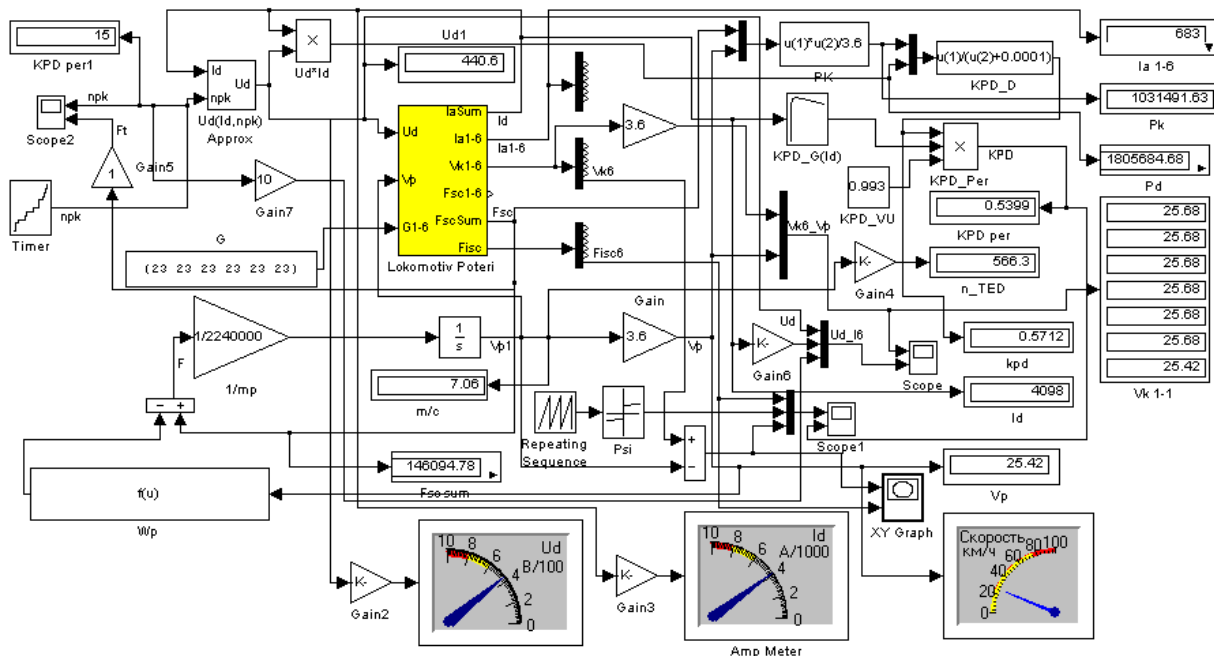


Рис. 4. Блок-схема полной математической модели движения локомотива с составом

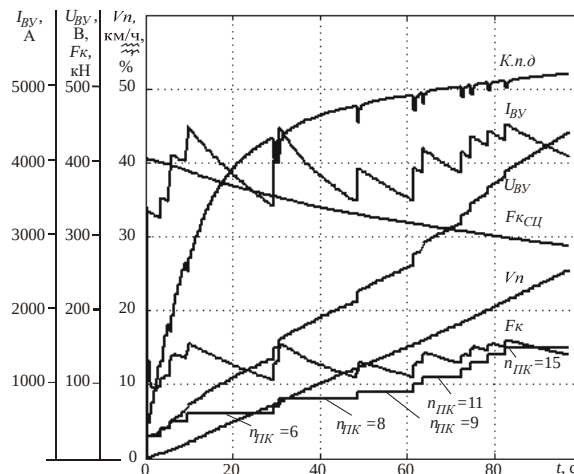


Рис. 5. Переходные процессы в электропередаче при трогании локомотива с составом:

V_n – скорость движения; I_{BV} – ток выпрямительной установки; U_{BV} – напряжение на выходе выпрямительной установки; $n_{ПК}$ – позиции контроллера; $F_k, F_{k_{сц}}$ – сила тяги локомотива и кривая ограничения по сцеплению; $K_{нд}$ – коэффициент полезного действия передачи

Выводы по данной работе и перспективы дальнейших исследований. Предложенная модель позволяет исследовать, кроме параметров электрической передачи, процессы оптимизации трогания и разгона состава по предельно допустимым значениям сил тяги и сцепления, задачи экономии дизельного топлива, улучшения параметров противобуксовочных систем и др.

Сравнение полученных результатов с экспериментальными данными движения тепловоза 2ТЭ116 с составом 4480 т, состоящего из 56 вагонов, показывает хорошую адекватность модели с объектом исследования. Отклонения теоретических кривых переходных процессов отличаются не более чем на 11% от экспериментальных.

Дальнейшие усовершенствования предложенной математической модели предполагается провести в направлении исследования влияния динамики экипажной части на процессы буксования и юза, а также возможности ввода случайных параметров кривой сцепления и продольно-динамических усилий в составе.

Л и т е р а т у р а

1. Исаев И.П., Голубенко А.Л. Совершенствование экспериментальных исследований сцепления колеса локомотива с рельсом // Железные дороги мира. – 1988. – №10. – С. 2-10.
2. Минов А.К. Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей. – М.: Транспорт, 1965. – 267 с.
3. Бурчак Г.П., Савоськин А.Н., Фрадкин Г.Н. и др. Методика моделирования движения рельсового экипажа по пути с искривленной осью // Труды МИИТ, 1997. – Вып. 912. – С. 12-22.
4. Михальченко Г.С., Погорелов Д.Ю., Коссов В.С. Автоматизированный комплекс DYNLOG для исследования ходовой динамики рельсовых экипажей. Сб. трудов 4-й Международной научно-технической конференции. Брянск. Изд-во БГТУ. – 2001.

5. Старостин С.С. Дискретная динамическая модель и регулирование состояния электрохимической системы с упругими связями. Сб. научн. трудов Дон ДТУ. – 2002. – Вып. 41. – С. 164-167.

6. A. Chudzikiewicz, J. Drozdziel. Proceedings of the 6-th Mini Conference on Vehicle System Dynamics. Identification and Anomalies. Budapest: Techn. Univ. 1998. – p. 123-129.

7. Воронько В.А. Математическая модель движения маневрового тепловоза. Моск. гос. ун-т путей сообщ. М.: 2001, 12. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 07.11.2001, № 6339 – ж.д. – 2001.

8. P. Oldrich. Rad-Schiene-Modelle in der Simulation der Fahrzeug und Antriebsdynamik. Ellek. Bahen. 2001.– 99. – №5. – p. 219 – 230.

9. Бабков Ю. В., Ким С.И., Киржнер Д.Л. и др. Микропроцессорные системы управления электропередачей тепловозов. Труды ВНИТИ. – 1999. – Вып. 79. – С. 180-188.

10. Загорский М.В., Никифоров Н.И. Прогнозирование тяговых качеств на стадии проектирования экипажной части локомотива. Сб. научн. трудов. Брянский гос. техн. ун-т. Брянск: Изд-во БГТУ. – 2000. – С. 16-22.

11. Микитенко А.Г., Плохов Е.М., Загирьян А.А. и др. Математическое моделирование динамики электровозов / под ред. А.Г.Микитенко. – М.: Высшая школа, 1998. – 274с.

12. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: Транспорт, – 1985. – 287 с.

13. Блохин Е.П., Манашкин Л.А. Динамика поезда. – М.: Транспорт, – 1982. – 222 с.

14. Демин Ю.В., Длугач Л.А., Коротенко М.Л. и др. Автоколебания и устойчивость движения рельсовых экипажей. – К.: Наук. думка, – 1984. – 159 с.

Tasang E.H., Klyuev A.S., Ivanova E.I.,
Mokshina O.V., Sobko V.A.
**MATHEMATICAL MODEL OF LOCOMOTIVE
MOTION WITH COMPOSITION**

This article discusses theoretical studies of the dynamics of electric transmission during the movement of diesel

locomotives in the modes of traction, run-out and slipping of wheel sets. The given results allow obtaining data for rational choice of design parameters of traction gears, designed and modernized diesel locomotives.

Key words: *electric transmission dynamics, diesel locomotive, traction transmission, mathematical model, oscillations, differential equation, coefficient, SIMULINK.*

Тасанг Эрик Хельмутович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: tasang24055@mail.ru

Tasang Erik, senior lecturer of the Department «Railway transport» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Клюев Александр Семёнович, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: aklyev1954@gmail.com

Klyuev Alexander, senior lecturer of the Department «Railway transport» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Иванова Елена Ивановна, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: eleandra1@mail.ru

Ivanova Elena, senior lecturer of the Department «Railway transport» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Мокшина Ольга Васильевна, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: olgamokshina64@gmail.com

Mokshina Olga, senior lecturer of the Department «Railway transport» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Собко Вадим Алексеевич, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: va.sobko@gmail.com

Sobko Vadim, senior lecturer of the Department «Railway transport» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Статья подана 04.05.2023

УДК 658.13

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОГО УСТРОЙСТВА В ЗОНЕ ХРАНЕНИЯ СТЕЛЛАЖНОГО СКЛАДА

Турушин В. А., Мирошников В. В., Турушина Н. В.

METHODOLOGY FOR CALCULATING THE MAIN PARAMETERS PNEUMATIC TRANSPORT DEVICE IN THE STORAGE AREA SHELVING WAREHOUSE

Turusin V. A., Miroshnikov V. V., Turusina N. V.

Статья посвящена актуальной теме по разработке новых методик расчёта основных технико-экономических характеристик и конструктивных параметров транспортных устройств на воздушной подушке в ячейках стеллажного склада. В данной работе предложены модель и методы расчета параметров пневмотранспортной системы для стеллажного способа хранения, применение которых позволяет на стадии проектирования повысить эффективность и уровень автоматизации обработки складских материалопотоков. Обоснован метод расчета основных конструктивных параметров и эксплуатационных характеристик транспортного устройства стеллажного склада с воздушной подушкой и наклонными питающими каналами с учетом смещения центра тяжести груза относительно геометрического центра опорной поверхности.

Ключевые слова: стеллажный склад, воздушная подушка, пневмотранспортное устройство, технико-экономические характеристики, конструктивные параметры.

Введение. В зоне хранения стеллажных складов для транспортно-складских работ в основном используются краны-штабелеры и вилочные погрузчики. Для их использования требуются значительные вспомогательные площади, что снижает эффективность использования складского объема и коэффициент использования общей площади.

Оптимизируя основную зону хранения за счет уменьшения вспомогательной площади, можно значительно повысить эффективность использования склада.

Путем замены погрузочно-разгрузочных механизмов, работающих в межстеллажном пространстве, из зоны хранения системой транспортных средств с воздушной подушкой можно существенно снизить капитальные затраты и эксплуатационные расходы, время обработки груза, упростить способ погрузки и выгрузки, увеличить полезную площадь склада и его

производительность, снизить энергетические затраты в рабочем процессе.

Транспортная система на основе воздушной подушки в стеллажном складе состоит из транспортных конвейеров, расположенных на них поддонов, предназначенных для установки груза в условную ячейку и подачи его на конвейер элеваторного типа в начале или конце стеллажного блока. Процесс перемещения поддона с грузом в стеллажном конвейере существенно отличается от исследованных ранее, так как в данном случае конвейер работает в режиме, когда существенное влияние на него оказывает смещение центра тяжести груза относительно центра поддона.

Поэтому разработка научно обоснованной методики определения конструктивных параметров транспортного устройства ячейки стеллажного склада с воздушной подушкой для создания эффективной транспортной системы в зоне хранения стеллажного склада является актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ результатов исследований и существующих конструкций пневмотранспортного устройства показал, что применение существующих методик расчёта основных технико-экономических характеристик и конструктивных параметров транспортных устройств на воздушной подушке в ячейках стеллажного склада нерационально или не представляется возможным, так как процесс перемещения поддона с грузом в ячейках существенно отличается от ранее исследованных, а именно: центр тяжести груза, расположенного на поддоне, чаще всего смещен относительно геометрического центра поддона, расстояние перемещения соизмеримо с длиной стеллажной полки, а движение поддона начинается из состояния покоя, что влечет за собой дополнительные энергозатраты [1, 2, 4].

В данной работе рассмотрены модель и методы расчета параметров пневмотранспортной системы

для стеллажного способа хранения, применение которых позволяет на стадии проектирования повысить эффективность и уровень автоматизации обработки складских материалополюков [3].

Цель данной работы – разработка новых методик расчёта основных технико-экономических характеристик и конструктивных параметров транспортных устройств на воздушной подушке в ячейках стеллажного склада.

Материалы и результаты исследования.

Исходными данными исследования являются: необходимая производительность, Z ; вес груза, хранимого в ячейке, G ; габаритные размеры груза, b , l ; максимально возможное смещение центра тяжести груза, Δb ; коэффициент трения материала поддона о материал несущей плиты ячейки, f .

В результате расчёта должны быть определены:

– *конструктивные параметры*: диаметр питающего канала, d ; угол отклонения оси питающего канала от вертикали, φ ; относительная площадь сечений питающих каналов, $\bar{S}_1$; глубина камеры в днище (опорной плоскости) поддона, H ;

– *технологические (эксплуатационные) параметры*: давление воздуха в ресивере, P ; расход сжатого воздуха, Q ; мощность приводного двигателя воздуходувной машины, N , Вт.

При исходных данных: $G \leq 500$ Н, $b \leq 1,0$ м,

$l \leq 1,0$ м, $\frac{\Delta b}{b} \leq 0,2$ оптимальными конструктивными

параметрами, с точки зрения расхода энергии на выдачу груза с конвейера или установки его на

конвейер, являются: $d = 0,002$ м, $\varphi = 30^\circ$, $\bar{S}_1 = 0,015$, $H = 0,002$ м, $C_{y0} = 0,54$.

Число питающих каналов на площади несущей поверхности транспортного устройства, перекрываемой поддоном, имеющих наклон в сторону движения, определяется по формуле:

$$n = \frac{4\bar{S}_1 \cdot b \cdot l}{\pi d^2}, \text{ шт.}$$

При оптимальных значениях конструктивных параметров число питающих каналов

$$n = 4412 \cdot b \cdot l, \text{ шт.}$$

Ускорение движения поддона, необходимое для обеспечения заданной производительности

$$a = \frac{Z^2 \cdot l}{6,48 \cdot 10^2}, \text{ шт.}$$

Высота воздушной подушки в крайних точках и средняя при оптимальных параметрах

$$h_1 = \frac{0,011 \cdot l}{1 + \frac{l}{b}} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,54 \cdot \left(1 + \frac{\Delta b}{b}\right)} - 1},$$

$$h_2 = \frac{0,011 \cdot l}{1 + \frac{l}{b}} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,54 \cdot \left(1 - \frac{\Delta b}{b}\right)} - 1},$$

$$h_{cp} = \frac{h_1 + h_2}{2}.$$

Значения коэффициентов тяговой силы в крайних точках:

$$C_{x1} = \frac{32 \cdot \left(\frac{0,002 + h_1}{0,002}\right)^2 \cdot \left[1 - 2 \cdot \frac{0,002 + h_1}{0,002} \cdot \left(1 - e^{-\frac{0,001}{0,002 + h_1}}\right)\right]^2 \cdot \frac{(b+l)^2}{0,015 \cdot (b \cdot l)^2} \cdot h_1^2}{1 + 2 \cdot \left(\frac{b+l}{0,015 \cdot b \cdot l} \cdot h_1\right)^2},$$

$$C_{x2} = \frac{32 \cdot \left(\frac{0,002 + h_2}{0,002}\right)^2 \cdot \left[1 - 2 \cdot \frac{0,002 + h_2}{0,002} \cdot \left(1 - e^{-\frac{0,001}{0,002 + h_2}}\right)\right]^2 \cdot \frac{(b+l)^2}{0,015 \cdot (b \cdot l)^2} \cdot h_2^2}{1 + 2 \cdot \left(\frac{b+l}{0,015 \cdot b \cdot l} \cdot h_2\right)^2}.$$

Давление воздуха в ресивере, необходимое для перемещения груза с заданным ускорением при оптимальных значениях конструктивных параметров:

$$P = \frac{G}{2bl} \cdot \frac{\frac{a}{9,8} \cdot \left(1 + 2f \cdot \frac{\Delta b}{l}\right) + 0,0008 \cdot \left[1 + 2f \cdot \frac{b}{l} \cdot \left(0,5 - \frac{\sqrt{h_2 \cdot h_1} - h_1}{h_2 - h_1}\right)\right]}{\left(1 + 2f \cdot \frac{b}{l}\right) \cdot C_{x1} + \left(1 - 2f \cdot \frac{b}{l}\right) \cdot C_{x2}}, \text{ Па}$$

Расход воздуха через питающие каналы:

$$Q = 0,021 \cdot b \cdot l \cdot \sqrt{\frac{P}{\rho}} \cdot \left[\frac{5,6 \cdot \frac{0,002 + h_{cp}}{0,002} \cdot \left[1 - 2 \cdot \frac{0,002 + h_{cp}}{0,002} \cdot \left(1 - e^{-\frac{0,001}{0,002 + h_{cp}}}\right) \cdot \frac{b+l}{0,015 \cdot b \cdot l}\right]}{\sqrt{1 + 2 \cdot \left(\frac{b+l}{0,015 \cdot b \cdot l} \cdot h_{cp}\right)^2}} + 1 \right],$$

где ρ – плотность воздуха, при температуре 10-35°C;
 $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Расход воздуха на одну операцию по установке в ячейку или выдаче из ячейки поддона с грузом:

$$Q_1 = Q \cdot t = Q \cdot \sqrt{\frac{2l}{a}}, \text{ м}^3.$$

Необходимая теоретическая мощность:

$$N = P \cdot Q, \text{ Вт}.$$

Выводы. 1. Разработанная методика расчета позволяет определить эксплуатационные характеристики неприводного транспортного устройства с воздушной подушкой с наклонными питающими каналами цилиндрической формы, обеспечивающего автоматическую установку или выдачу с конвейера стеллажного склада груза весом до 500 Н, расположенного на поддоне, имеющем ширину и длину до 1,0 м, при смещенном центре тяжести, с необходимой производительностью.

2. Если по технологии работы стеллажного склада предусмотрена одновременная выдача или установка нескольких поддонов с грузом или груза с плоским основанием, при выборе воздуходувной машины необходимо определять расход воздуха по максимальному числу одновременно срабатываемых транспортных устройств.

Л и т е р а т у р а

1. Турушин В.А. Влияние давления сжатого воздуха в ресивере на основные характеристики неприводного конвейера на воздушной подушке с наклонными питающими каналами / В.А. Турушин, М.А. Пронин // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля, 2003. – № 10 (68) частина 2. – С. 134-137.

2. Турушин В.А., Редько А.М., Турушина Н.В. Складские стеллажи с воздушной подушкой // Вісник СХУ ім. В. Даля – 2010. – № 4 (146) частина 2. – С. 25-27.

3. Турушина Н.В., Турушин В.А. Влияние смещения центра тяжести груза относительно центра поддона конвейера с воздушной подушкой на сопротивление перемещения // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2011. – № 5 (159) частина 2. – С. 298-305.

4. Турушин В.А. Влияние конструктивных параметров на основные характеристики конвейеров на воздушной подушке / В.А. Турушин, А.М. Редько. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 1997. – 9 с.

Turusin V.A., Miroschnikov V.V., Turusina N.V.
METHODOLOGY FOR CALCULATING THE MAIN PARAMETERS PNEUMATIC TRANSPORT DEVICE IN THE STORAGE AREA SHELVING WAREHOUSE

The article is devoted to an urgent topic on the development of new methods for calculating the main

technical and economic characteristics and design parameters of air-cushion transport devices in the cells of a shelving warehouse. In this paper, a model and methods for calculating the parameters of a pneumatic transport system for a shelving storage method are proposed, the use of which allows at the design stage to increase the efficiency and level of automation of processing warehouse material flows. The method of calculation of the main design parameters and operational characteristics of the transport device of a shelving warehouse with an air cushion and inclined feeding channels is substantiated, taking into account the displacement of the center of gravity of the load relative to the geometric center of the support surface.

Key words: shelving warehouse, air cushion, pneumatic transport device, technical and economic characteristics, design parameters.

Турушин Владимир Александрович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: sun.best36@mail.ru

Turusin Vladimir, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Transport Technologies» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Миросьников Вадим Владимирович, доктор технических наук, профессор, проректор по научно-учебной работе ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: prorectormvv@mail.ru

Miroschnikov Vadim, Dr. Sci. (Eng.), professor, vice-rector for scientific and educational work of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Турушина Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: sun.best@mail.ru

Turushina Nataliya, Candidate of Technical Sciences, docent of the Department «Transport Technologies» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, д.т.н., проф., заведующий кафедрой автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 14.04.2023

УДК 621.878/.879:620.178.1

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ШАРНИРОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ И ПОГРУЗЧИКОВ

Шовкопляс А. В.

WEAR RESISTANCE OF HINGES OF WORKING EQUIPMENT OF SINGLE- BUCKET EXCAVATORS AND LOADERS

Shovkoplias A. V.

Нагрузка на шарниры рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов и погрузчиков при выполнении земляных и погрузочно-разгрузочных работ, обуславливающая давление в зоне контакта, зависит от размеров элементов рабочего оборудования, объема ковша (массы машины), характера разрабатываемого грунта и схемы расположения мест крепления гидроцилиндров относительно стрелы и рукояти. Скорость изнашивания деталей шарниров изменяется пропорционально изменению давления, которое, в свою очередь, может иметь статический, циклический или изменяющийся по экскаваторному режиму характер. Состояние смазочного материала, загрязненного абразивными частицами, количество которого уменьшается из-за утечек, существенно сказывается на скорости изнашивания деталей шарниров. Величина и частота относительных перемещений поверхностей трения также является фактором, влияющим на износ рассматриваемых деталей.

Ключевые слова: изнашивание, износостойкость, шарнир, нагрузка, трение, давление, ковш, стрела.

Введение. В различных отраслях хозяйственной деятельности ежегодно выполняются громадные объемы земляных и погрузочно-разгрузочных работ, преобладающая часть которых производится экскаваторами и погрузчиками.

Одноковшовые экскаваторы обладают универсальностью, так как могут использоваться как при проведении земляных, так погрузочно-разгрузочных и других видов работ.

Одноковшовые экскаваторы появились почти два века назад. В России они впервые были применены при строительстве железной дороги Петербург-Москва, а в начале XX века на Путиловском заводе был организован выпуск экскаваторов.

Наибольшее распространение при производстве земляных, погрузочно-разгрузочных, мелиоративных и других видов работ имеют одноковшовые экскаваторы и погрузчики с рабочей массой 5,5-25 т и ковшами вместимостью 0,25-1,6 м³. Они составляют до 90% от общего объема

производимых экскаваторов и погрузчиков, снабженных большим количеством видов сменного рабочего оборудования и рабочих органов [1].

Изложение основного материала. У рабочего оборудования строительных и дорожных машин наиболее изнашиваемыми являются шарниры ковша, рукояти, стрелы и гидроцилиндров. Размеры деталей шарниров приведены в таблице 1. Для изготовления осей и втулок шарниров применяют стали 45 и 45Х. Специальными уплотнениями шарниры не оборудуют, а для уменьшения торцовых зазоров используют наборы шайб. В качестве смазочного материала применяют консистентные смазки – солидол синтетический С, ЦИАТИМ-201, ЦИАТИМ-203.

Таблица 1

Размеры деталей шарниров рабочего оборудования

Объем основного ковша, м ³	Диаметр оси, мм	Длина рабочей части, мм	Число деталей на шарнир
Одноковшовые экскаваторы			
0,40-0,50	60	100	2
0,50-0,65	75	100	2
0,65-1,00	90	100	2
1,20-1,60	110	85	4
Одноковшовые погрузчики			
1,50	50	50	2

При расчетах наибольшие нагрузки в шарнирах рабочего оборудования имеют место в случае стопорения ковша при копании различными способами (рис. 1, а) – поворотом рукояти или поворотом ковша. Определяют характер изменения усилия на зубе ковша (рис. 1,б) и для расчета учитывают положение рабочего оборудования, при котором получают наибольшие нагрузки [2, 4].

Такой же метод может использоваться и для расчета шарниров одноковшового погрузчика. Определив нагрузки для всех возможных случаев копания (набора) грунта, для расчетов выбирают наихудший из них.

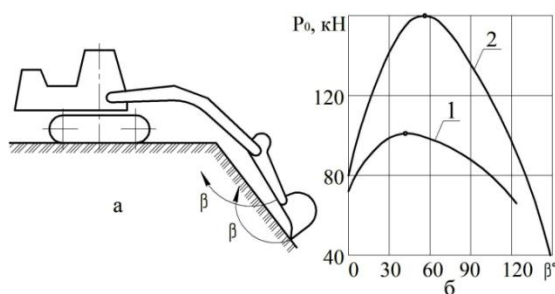


Рис. 1. Различные способы разработки грунта поворотом рукояти или ковша на угол β (а) и характер изменения усилия на зубе ковша экскаватора четвертой размерной группы при различных способах копания (б):

1 – поворотом ковша; 2 – поворотом рукояти

Результаты исследований. Развитие вычислительной техники позволило полностью механизировать и автоматизировать расчет рычажных шарнирных механизмов, а также определение расчетных положений и нагрузок в шарнирах для всех вероятных случаев работы по всей возможной зоне работы. При исследовании работы шарниров было установлено, что нагрузки мало зависят от места копания в зоне разрабатываемого участка грунта. Нагрузки в каждом из шарниров имеют свой характер изменений, который определяется способом копания грунта – поворотом рукояти или поворотом ковша. Наибольшие нагрузки во всех шарнирах одновременно не возникают, а, следовательно, расчеты необходимо производить для всех возможных способов копания и для положений элементов, в которых нагрузка будет наибольшая [5].

Исследование работы шарниров показывает, что на поверхностях осей и втулок имеются ярко выраженные следы схватывания при средней скорости изнашивания, равной 2,0-3,5 мкм/ч. Нарботка некоторых из деталей составляет 200-3000 мото-часов [4, 7].

Зависимость наибольших стопорных нагрузок от массы машины с достаточной степенью точности (ошибка 6-8 %) может быть определена выражением:

$$N_i = G \cdot \alpha_i, \quad (1)$$

где N_i – наибольшая нагрузка на i -м шарнире, Н; G – вес экскаватора, Н; α_i – угловой коэффициент, определяемый видом шарнира. Для шарнира стрелы $\alpha_i = 20$, шарнира рукояти $\alpha_i = 24,4$, шарнира ковша $\alpha_i = 14$.

В действительности же стопорные моменты возникают редко, и копание производится при непрерывном движении ковша. Как показали исследования, действительные нагрузки меньше расчетных (стопорных). Учитывая вывод А. Н. Зеленина о характере влияния грунта на усилие его разработки, а также сказанное выше, наибольшая нагрузка на i -м шарнире может быть выражена через переходной коэффициент:

$$N_{Di} = 0,65 \cdot K_r \cdot N_{Pi}, \quad (2)$$

где K_r – коэффициент влияния грунта.

При определении действительного характера нагружения осей шарниров установлено, что одновременно с общим характером изменения нагрузки на шарниры происходит ее пульсация (флуктуация): $\pm(0,04-0,06) \cdot N$ кН с частотой 2,5-3,0 с⁻¹ [3, 4].

Нагрузка на шарниры рабочего оборудования зависит от размеров элементов рабочего оборудования, объема ковша (массы машины), характера разрабатываемого грунта и схемы расположения мест крепления гидроцилиндров относительно стрелы и рукояти. Наиболее нагруженным в процессе копания является шарнир рукояти, а при поворотах на разгрузку и обратном повороте – шарнир стрелы. Продолжительность действия наибольших нагрузок на шарнир составляет 8-10% времени цикла работы, а в остальное время (92-90%) нагрузка составляет 15-16% максимальной.

При работе и движении ковша происходят повороты одного элемента рабочего оборудования относительно другого. Как показала практика, в среднем углы поворотов имеют определенные значения (рис. 2). Значения углов поворота втулки относительно оси шарнира (или наоборот) приведены в таблице 2. Число поворотов элементов или перемещений поверхностей трения δ за 1 ч работы для экскаваторов массой 14-16, 20-24, 36-40 т может составлять соответственно 425, 380, 325. При выполнении каждого цикла работы возвратно-поступательные повороты поверхностей трения деталей шарниров составляют для шарниров стрелы, рукояти и ковша соответственно ± 60 , ± 45 , $\pm 115^\circ$ [8].

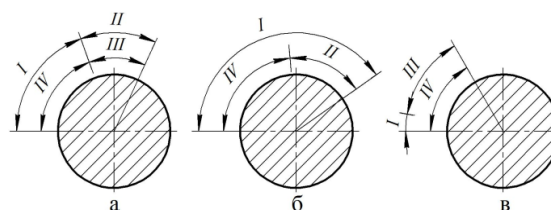


Рис. 2. Схема поворота осей шарниров относительно втулок при выполнении операций цикла: а – шарнир ковша; б – шарнир рукояти; в – шарнир стрелы; I – копание; II – поворот на разгрузку; III – разгрузка; IV – обратный поворот

Таблица 2
Средние значения углов поворота (в °) деталей шарниров (втулки относительно оси) при выполнении операций цикла

Операция	Шарнир		
	ковша	рукояти	стрелы
Копание I (см. рис. 2)	+70	+145	+(10-20)
Поворот на разгрузку II (см. рис. 2)	+45	-60	-50
Разгрузка III (см. рис. 2)	-45	-	-
Обратный поворот IV (рис. 2)	+70	-85	+(50-60)

Примечание: + поворот по часовой стрелке; - поворот против часовой стрелки.

Величина перемещения поверхностей трения за один цикл работы определяется размером деталей шарнира и местом расположения шарнира.

Таблица 3

Перемещения поверхностей трения деталей шарнира в зависимости от массы экскаватора и диаметра оси

Масса экскаватора, т	14-16	22-24	36-38
Диаметр оси, мм	60	90	110
Перемещение в мм, поверхностей шарнира			
стрелы	70	110	130
рукояти	145	230	280
ковша	115	184	220

Перемещения поверхностей трения за 1 ч работы:

$$S = \delta \cdot v_{\delta} \cdot n = 0,035 \cdot d \cdot \varphi \cdot n, \quad (3)$$

где d – диаметр втулки; φ – угол поворота.

Изменение давления на поверхности трения деталей шарниров определяется с учетом влияния упругих свойств материалов. Оно зависит от характера выполняемого процесса, размеров деталей шарнира.

Коэффициент трения на шарнирах экскаваторов изменяется незначительно и составляет 0,170-0,185 [4, 6].

Влияние на скорость изнашивания деталей шарниров изучалось в процессе работы сочленений при различных характерах нагружения и трения.

Было установлено, что на скорость изнашивания влияет характер давления: статический, циклический и изменяющийся по экскаваторному режиму. Установлено, что при работе в условиях экскаваторного режима нагружения детали изнашиваются в 1,4-1,5 раза быстрее, чем при постоянном давлении.

Скорость изнашивания деталей шарниров изменяется пропорционально изменению давления. При изменении давления с 55 до 85 МПа скорость изнашивания втулки возрастает на 61,5% с 1,95 до 3,15 мкм/ч, а оси на 63,6% – с 1,1 до 1,8 мкм/ч [4].

На скорость изнашивания деталей шарниров влияет характер изменения давления на поверхности трения. Чем больше изменение давления или его частота, тем значительнее скорость изнашивания. Это влияние может быть учтено коэффициентами K_1 и K_2 .

Состояние смазочного материала, загрязняемого абразивными частицами, количество которого уменьшается вследствие утечек, также оказывает существенное влияние на скорость изнашивания деталей шарниров. При исследовании работоспособности подшипников скольжения опорных элементов гусеничного движителя было установлено, что износ деталей зависит от степени загрязнения смазочного материала и его количества. При работе подшипников скольжения (шарниров),

не защищенных от попадания абразивных частиц на поверхности трения и утечек смазочного материала износ деталей еще в большей степени зависит от состояния промежуточной среды – количества примесей в смазке, величины утечек. Это влияние на износ можно учитывать коэффициентами K_{Π} и K_y . На скорость изнашивания влияют также нагрузки, давления и продолжительность их действия на шарниры рабочего оборудования экскаваторов.

При работе в разных грунтах износ деталей шарниров различен (табл. 4).

Износ деталей шарниров, как указывалось, зависит от ряда факторов, из которых главнейшими являются: величина давления и характер его действия на поверхности трения, величина и частота относительных перемещений поверхностей трения, свойства материалов шарниров и промежуточной среды.

Таблица 4

Скорость изнашивания деталей шарниров при разработке различных грунтов

Показатель	Число С ударов плотномера		
	16-24	8-15	4-7
Среднее давление, МПа, на поверхности трения:			
при копании	39	32	29
при поворотах	26	20	22
Скорость изнашивания, мкм/ч:			
втулки	4,00	2,69	1,24
оси	2,50	1,66	0,78

С учетом этого скорость изнашивания деталей шарниров для втулки:

$$\gamma_B = A_B \cdot p_B \cdot \varphi \cdot n \cdot f \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_{\Pi} \cdot K_y \cdot K_M; \quad (4)$$

для оси:

$$\gamma_O = A_O \cdot p_O \cdot r_1 \cdot \varphi \cdot n \cdot f \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_{\Pi} \cdot K_y \cdot K_M, \quad (5)$$

где A_B и A_O – показатели, учитывающие влияние неучтенных факторов, МПа⁻¹; p_B и p_O – давление на поверхности пар трения втулка-ось; φ – средний угол поворота втулки относительно оси; r_1 – радиус оси; n – число перемещений поверхностей трения на 1 мото-час; K_{Π} и K_y – коэффициенты, учитывающие влияние состояния смазочного материала; f – коэффициент трения.

Ресурс деталей пары трения шарнира:

$$t_B = \frac{U_{ДВ}}{\gamma_B}; \quad t_O = \frac{U_{ДО}}{\gamma_O}, \quad (6)$$

где t_B , t_O – соответственно ресурс втулки и оси; $U_{ДВ}$, $U_{ДО}$ – допустимый износ втулки и оси.

Выводы. Характер приложения нагрузки к шарнирам рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов и погрузчиков определяется способом копания – поворотом рукояти или поворотом ковша, характером разрабатываемого грунта (материала), размерами элементов рабочего оборудования, объемом ковша и массой машины, расположением

мест крепления гидроцилиндров относительно стрелы и рукояти. Причем нагрузка носит не постоянный, а пульсирующий характер с частотой $2,5-3,0 \text{ с}^{-1}$.

Скорость изнашивания элементов шарниров зависит от характера давлений: статический, циклический или изменяющийся по экскаваторному режиму. Причем при работе в условиях экскаваторного режима нагружения детали шарниров изнашиваются в 1,4-1,5 раза быстрее, чем при постоянном давлении.

На скорость изнашивания деталей шарниров влияет характер изменения давления на поверхности трения. Чем больше изменение давления или его частота, тем значительнее скорость изнашивания. Состояние смазочного материала, загрязненного абразивными частицами, уменьшение его количества вследствие утечек также существенно влияет на скорость изнашивания деталей шарниров. Продолжительность действия нагрузки на шарниры рабочего оборудования экскаваторов и погрузчиков также влияет на скорость их изнашивания.

Резервом повышения износостойкости пар трения шарниров рабочего оборудования является использование для их изготовления материалов, не склонных к схватыванию, а также применение уплотнительных устройств, препятствующих загрязнению и потерям смазки.

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. Волобоев В.Г. Методологические основы обоснования оптимальных параметров элементов рабочего оборудования землеройных и землеройно-транспортных машин: учебное пособие / В.Г. Волобоев. – Омск: СибАДИ, 2002. – 168 с.
3. Кос И.И. Основы надежности дорожных машин: учебное пособие / И.И. Кос, В.А.Зорин. – М.: Машиностроение, 2015. – 166 с.
4. Рейш А.К. Повышение износостойкости строительных и дорожных машин / А.К. Рейш. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
5. Современная трибология. Итоги и перспективы / Отв. ред. К.В. Фролов. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 480 с.
6. 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.
7. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания / В.Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 1995. – 330 с.

8. Шестопалов К.К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование / К.К. Шестопалов. – М.: Образовательно-издательский центр «Академия», 2012. – 320 с.

Shovkoplias A. V.

WEAR RESISTANCE OF HINGES OF WORKING EQUIPMENT OF SINGLE-BUCKET EXCAVATORS AND LOADERS

Significant volumes of excavation and loading and unloading operations are carried out annually by single-bucket excavators and loaders, the working equipment of which is subject to wear, in particular, bucket hinges, handles, arrows and hydraulic cylinders.

The loads on each of the hinges are not constant, they have a pulsating nature of changes with a frequency of 2.5-3.0 s⁻¹, which depends on the method of digging the soil and the nature of the soil being developed, the size of the elements of the working equipment, the volume of the bucket (machine weight) and the layout of the attachment points of the hydraulic cylinders relative to the boom and handle. The most loaded in the process of digging is the hinge of the handle, and when turning to unload and reverse rotation – the hinge of the boom.

The wear rate of the hinge parts is affected by the nature of the pressure change on the friction surface. The greater the pressure change or its frequency, the greater the wear rate. The material properties of the hinge elements – bushings and axles, the condition of the lubricant contaminated with abrasive particles, and a decrease in its amount due to leaks have a significant impact on the wear rate of the hinge parts. The duration of the load on the hinges of the working equipment of excavators and loaders also affects the rate of their wear.

Key words: wear, wear resistance, hinge, load, friction, pressure, bucket, boom.

Шовкопляс Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортная техника» ФГБОУ ВО «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» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Замота Тарас Николаевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 25.04.2023

ДРУГИЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУКИ

УДК 621.01: 62-883

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРЕИМУЩЕСТВ ПРИМЕНЕНИЯ
АЭРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР В ШПИНДЕЛЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Брешев В. Е.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL ADVANTAGES OF USING AEROSTATIC
SUPPORTS IN THE SPINDLES OF TECHNOLOGICAL MACHINES

Breshev V. E.

Выполнен анализ технико-технологических преимуществ аэростатических опор и опорных систем при их применении в шпинделях технологических машин для механической обработки материалов. Аэростатические опоры обладают достаточными уровнями жёсткости и несущей способности, обеспечивают максимально высокие скорости вращения и резания, высокий уровень точности позиционирования рабочих органов с инструментом, являются наиболее ресурсо- и энергосберегающими с фактическим отсутствием износа опорных поверхностей. Это позволяет эффективно применять аэростатические опоры и опорные системы в технологическом оборудовании для высокоскоростной и высокопроизводительной механической обработки материалов.

Ключевые слова: привод бесконтактный, аэростатическая опора, механическая обработка, шпиндель.

Введение. Аэростатические опоры удерживают роторы приводов аэродинамическими силами реакций, поэтому такие приводы прямого действия функционируют механически бесконтактно. В них полностью исключён твердотельный механический контакт между неподвижными и движущимися частями, например, ротором и корпусом шпинделя или ротором и статором его движителя. Силы реакций в опорах и вращающие моменты на роторах от двигательных устройств передаются и действуют за счёт потоков газа или жидкости, электромагнитных полей, что позволяет исключить необходимость использования механического контакта между твёрдыми движущимися поверхностями деталей и узлов.

Отсутствие твердотельного контакта при силовом взаимодействии приводит к существенному изменению условий функционирования привода или узла машины с точки зрения достижения

максимальных скоростей, минимизации износа опорных движущихся поверхностей, потерь на трение, вибраций и соударений, деформаций от контактных напряжений, температурных напряжений, сокращения времени выхода на рабочие режимы и др. [1-3].

Постановка задачи. Различные по назначению и конструкции приводы бесконтактного типа обладают общими техническими преимуществами, которые в наибольшей степени проявляют себя в высокоскоростном и высокоточном (прецизионном) оборудовании. Наиболее важные из них следующие [2, 4, 5, 6]:

- Плавность движения роторов, исполнительных или рабочих органов – отсутствие «рывков» или усилий отрыва в начале движения и при реверсе, что недостижимо для самых совершенных опор качения и механических передач.
- Реверс без люфта, механического гистерезиса и близкие к нулю биения. Люфты и биения непосредственно зависят от зазоров в опоре. Между валом и телами качения в шарикоподшипниках зазор составляет 20...50 мкм и более, а в бесконтактных опорах люфт-зазора нет.
- Малые потери на трение, обеспечивающие повышение КПД привода и всего оборудования.
- Устойчивость уровня потерь на трение при изменении нагрузок и скоростей, что не реализуемо в опорах качения, полусухого или полужидкостного трения.
- Фактическое отсутствие износа несущих (опорных) поверхностей бесконтактных опор.
- Микрометрическая чувствительность к смещениям и потому максимально высокая для шпинделей точность позиционирования инструмента или исполнительных органов.
- Возможность получения на валах больших

крутящих моментов – до 58 000 Н·м без использования механических передач, что позволяет уменьшить массу и габариты технологических машин.

- Близкий к нулю градиент погрешностей в условиях длительной нормальной эксплуатации из-за фактического отсутствия износа рабочих поверхностей опор.

- Исключение ударных нагрузок, низкая виброактивность, естественное виброгашение и шумоподавление за счёт течения газовой смазки между движущимися опорными поверхностями.

- Максимально широкие диапазоны скоростных режимов при реализации технологических процессов.

Аэростатические опоры являются одним из наиболее распространённых и востребованных типов бесконтактных опор в машинах различного назначения.

При функционировании они создают силы реакции газодинамической природы, возникающие и действующие на опорные поверхности при течениях между ними газовой (воздушной) смазки под давлением. Неравномерность распределения давления и газодинамические свойства газовой смазки определяют силы реакции опор (подъёмную силу), механические свойства опорной системы и технико-технологические преимущества перед другими опорами.

Целью работы является исследование технико-технологических преимуществ аэростатических опор и опорных систем при использовании их в приводах технологических машин для высокоскоростной и высокопроизводительной обработки материалов.

Результаты исследований. Опоры на газовой смазке, ввиду своих особенностей, сообщают приводам ряд технических характеристик, параметров и свойств, значительно превосходящих опоры других типов и конструкций. Рассмотрим основные из них.

1. Максимально высокие частоты вращения роторов. Приводам вращения с опорами на газовой смазке принадлежат максимальные достигнутые частоты вращения – до 650 000 об/мин. В машиностроении сегодня в диапазоне частот вращения от 100 000 до 600 000 об/мин работают исключительно приводы на газовой смазке (шпиндели, турбогенераторы, турбокомпрессоры, турбодетандеры, вакуумные насосы и др.).

При исследовании опор на газовой смазке течение газа в зазоре принимается ламинарным – послойным (*lamina* – слой). При нём не происходит вихреобразования, отрывов потока и перемешивания, а скорость в направлении, перпендикулярном потоку, равна нулю [1, 3, 4, 5]. Газовая смазка, как и жидкостная, обладает вязкостью (внутренним трением между слоями) и свойством «прилипания» к стенкам, что приводит к напряжениям сдвига между слоями при её

ламинарном течении в зазоре. Для ламинарного течения вязкой среды экспериментально было установлено, что в зазоре скорость ламинарного потока распределяется равномерно – по линейному закону по высоте зазора. Если же с увеличением угловой скорости ω вращения ротора (вала) режим станет турбулентным, а тем более сверхзвуковым, то распределение скоростей и давлений потеряет линейность, а значит аналитическую (расчётную) и проектную предсказуемость, особенно на нестационарных и переходных режимах.

По этой причине газовой смазке важно находиться в пределах ламинарного режима течения, в котором удельная сила сопротивления движению (касательное напряжение или напряжением сдвига τ) пропорциональна скорости движущейся поверхности и обратно пропорциональна расстоянию между подвижной и неподвижной поверхностями. Коэффициентом пропорциональности является коэффициент динамической вязкости газа μ , характеризующий его физические свойства в данных условиях.

Границу перехода от ламинарного к турбулентному течению газовой смазки в зазоре можно рассматривать как предельную (максимальную) скорость не только в смысле аналитической определённости, но, главным образом в смысле устойчивости физического процесса течения смазки. А значит и устойчивости процесса создания подъёмной силы в опоре (реакции на нагрузку и возникший эксцентриситет) при функционировании на установившемся или переходном режимах. Граница существования ламинарного течения определяется критическим $Re_{кр}$ или модифицированным Re_c числами Рейнольдса [4, 5, 7]:

$$Re_{кр} = \frac{\rho U_{кр} h_0}{\mu} = 2000 \dots 2300;$$

$$Re_c = \frac{\rho U_{кр} h_0}{\mu} \frac{h_0}{L_0} \approx 1,$$

где ρ – плотность газовой смазки при расчётной температуре и давлении;

$U_{кр}$ – скорость течения газовой смазки, соответствующая критическому порогу перехода между ламинарным и турбулентным режимами;

h_0 – характерный размер, которому соответствует величина зазора между опорными поверхностями подшипников;

μ – динамическая вязкость газовой смазки;

L_0 – характерный размер, соответствующий длине смазочного слоя и расчётной длине опоры.

Если смазкой является воздух, который в зазоре опоры находится под давлением $p = 0,4$ МПа и имеет среднюю температуру $t = 40^\circ \text{C}$, тогда он обладает вязкостью $\mu = 1,9 \cdot 10^{-5}$ кг/м·с и плотность $4,52 \text{ кг/м}^3$. В этом случае критическая скорость $U_{кр}$

потока воздушной смазки при указанных термодинамических условиях для опоры с зазором $h = 4 \cdot 10^{-5}$ м составит:

$$U_{крср} = \frac{Re_{кр} \mu}{\rho h} = \frac{(2000...2300) \cdot 1,9 \cdot 10^{-5}}{4,52 \cdot 4 \cdot 10^{-5}} \approx 200...240 \text{ м/с},$$

откуда получаем критическую частоту вращения вала с опорной поверхностью (шейкой) радиуса r :

$$n_{кр} = n_{max} = \frac{2 Re_{кр} \mu}{\rho h} \frac{60}{2\pi r} \approx \frac{4200}{r}.$$

Если средняя (по середине зазора) скорость ламинарного потока при течении Куэтта $U_{крср} = 220$ м/с, то скорость газа на поверхности ротора при этом достигнет 440 м/с и значительно превысит скорость звука (для воздушной смазки в условиях течения в зазоре опоры она составляет 348...360 м/с). Таким образом, именно условие дозвукового течения газовой смазки в опорах с малыми зазорами определяет ту величину критической частоты вращения вала $n_{кр}$, до которой опора будет функционировать на расчётных и устойчивых ламинарных режимах:

$$n_{кр} = n_{max} = 350 \frac{60}{2\pi r} \approx \frac{3340}{r},$$

где r – радиус подшипниковой шейки, выраженный в метрах.

Следовательно, при малых диаметрах (0,004...0,006 м) опорных поверхностей, для газовых опор достижимы частоты вращения до 840 000 об/мин, что соответствует быстроходности $d_m \cdot n = 3,7 \cdot 10^6$ мм·об/мин. У высокоскоростных подшипников качения $d_m \cdot n = (0,5...0,6) \cdot 10^6$ мм·об/мин, так как максимальные скорости ограничиваются центробежными динамическими нагрузками, которые пропорциональны ω^2 . Они приводят к интенсивному росту контактных напряжений, деформаций (потерь на упругий гистерезис), износу и вибрациям. Интенсифицируется трение тел качения об кольца и сепаратор, что приводит к нагреву, уменьшению зазоров и снижению прочностных свойств материалов тел качения, сепаратора, колец. При наличии угла контакта β тел качения, на них действует гироскопический момент, вызывающий момент трения вращения [6]. Опорам же с жидкостной смазкой высокие скорости недостижимы по причине значительного роста потерь на вязкое трение в смазке.

2. Минимальные потери на трение в опорах на газовой смазке, что повышает КПД привода, исключает износ и риск теплового разрушения, уменьшает время выхода на рабочий режим с установившимся тепловым балансом. Момент трения $M_{тр}$ складывается из двух составляющих – собственно момента трения $M'_{тр}$ и момента M' , прикладываемого для разгона газовой смазки до

средней скорости $U_{ср} = \frac{\omega r}{2}$ потока смазки [4, 8, 9]:

$$M_{тр} = M'_{тр} + M' = \frac{2\pi^3 L \mu \omega}{C} + \frac{Q_m \omega r^2}{2},$$

где r – радиус цапфы (подшипниковой шейки или несущей поверхности);

L – длина опоры;

μ – коэффициент динамической вязкости газовой смазки;

ω – угловая скорость вала или цапфы;

C – величина среднего зазора с газовой смазкой;

Q_m – массовый расход газовой смазки.

Для радиальной гидродинамической опоры момент трения $M_{тр}$ и коэффициент трения f_u (нижний индекс u означает принадлежность цапфы):

$$M_{тр} = r F_{тр} = \frac{\mu 2\pi^2 L U}{h_{ср}};$$

$$f_u = \frac{M_{тр}}{2q_{ср} r l} = \frac{\pi \mu U}{h_{ср} q_{ср}} = \frac{\pi \mu r \omega}{h_{ср} q_{ср}} = 0,053 \sqrt{\frac{n \mu}{q_{ср}}} \sqrt{4\lambda + 1},$$

где r – радиус цапфы или подшипниковой шейки;

$F_{тр}$ – суммарная сила трения опоры;

$q_{ср}$ – среднее удельное давление смазки;

L – длина подшипника;

μ – коэффициент динамической вязкости жидкой смазки;

U – линейная скорость жидкости на поверхности цапфы;

n – частота вращения цапфы;

$\lambda = \frac{d}{L}$ – относительная длина подшипника;

$h_{ср}$ – средняя величина зазора $h_{ср} = B r \sqrt{\frac{\mu \omega}{q_{ср}}}$, здесь B

– эмпирический коэффициент, зависящий от среднего зазора.

Приведённые аналитические выражения показывают зависимость коэффициента трения f_u для опор на жидкостной смазке от скорости U или частоты вращения n , который растёт в параболической зависимости с показателем 1/2. На малых скоростях – примерно до 0,2 м/с – коэффициент трения находится на минимальном уровне 0,005, но с ростом скорости до 4...6 м/с (что для опор вращения соответствует $n = 600...800$ об/мин) f_u увеличивается почти в 10 раз – до 0,04. Это объясняется ростом гидравлических сопротивлений, пропорциональных увеличивающемуся градиенту скорости смазки. Ещё десятикратный рост скорости увеличит коэффициент трения до 0,1, а энергетические потери и нагрев опор привода потребуют принятия дополнительных мер для охлаждения и обеспечения энергетического баланса.

В опорах качения потери от трения представляют собой сложный процесс, имеющий восемь составляющих (трение качения; трение

скольжения; трение, вызванное потерями на упругий гистерезис; трение сдвига и сброса смазки; турбулентное перемешивание воздуха и смазки и др.).

Многие из составляющих не поддаются точному математическому моделированию, поэтому суммарный момент трения M_{TP} может быть точно установлен только экспериментально [6]. В [2] приведены экспериментальные данные исследования сопротивления подшипника *A36205* при осевой нагрузке 40 Н и радиальной 200 Н, частоте вращения 36 000 об/мин. Измеренный момент сопротивления составил $M_{TP} = 75 \cdot 10^{-3}$ Н·м и оказался в 6 раз больше, чем у газостатического подшипника аналогичных размеров.

Для оценки момента трения используется приведённый коэффициент трения f_n . Для опор качения разной конструкции и типоразмеров он находится в пределах от 0,0015 до 0,01, но при этом не учитывает потери, вызванные высокими скоростями, тепловыми и динамическими нагрузками. Статический момент трения характеризует переход от состояния покоя к движению, для него $f_{TPn} = 0,05$ и более. Учитывая,

что $M_{TP} = f_n P \frac{d}{2}$ (P – действующая нагрузка, d – диаметр подшипниковой шейки), для подшипника качения с $f_n = 0,002$, $P = 400$ Н, $d = 4$ мм (шариковый однорядный подшипник 1000084 [6]), получаем момент трения шарикоподшипника $M_{TP} = 3,2 \cdot 10^{-3}$ Н·м, а для аэростатического подшипника с такой же нагрузкой, но при $n = 15\,000$ об/мин $M_{TP} = 6,5 \cdot 10^{-3}$ Н·м. Если же аэростатическому подшипнику сообщить малую угловую скорость – 1 рад/с, то получим $M_{TP} = 3,3 \cdot 10^{-6}$ Н·м. Следовательно, для опоры с газовой смазкой на малых частотах вращения получаем на два порядка меньший коэффициент трения $f_n \approx 0,000024$, а статический момент трения $f_{TPn} \approx 0$.

3. Максимальный диапазон рабочих температур опор на газовой смазке – от -260°C в криогенных машинах, до $(+400...+800)^\circ\text{C}$ в газотурбинных и других установках. Эксплуатация опор качения обычно ограничена температурным диапазоном от -30°C до $+200^\circ\text{C}$ по причине изменения физических свойств смазки, механических свойств материалов, ухудшения режима смазки (в результате изменения вязкости, вытекания, расслоения, коксования и т.д.).

У опор с жидкостной смазкой, наряду с перечисленными проблемами смазывания и химической стабильности, с повышением температуры происходит снижение несущей способности из-за уменьшения коэффициента динамической вязкости μ . Вязкость машинных масел при увеличении температуры от $+20^\circ\text{C}$ до $+80^\circ\text{C}$ уменьшается в 14 раз, а у воздушной смазки в этих условиях μ возрастает в 1,15 раза [2, 3, 7, 8, 9].

4. Химическая инертность газовой смазки в самом широком диапазоне температур, её сжимаемость, что обеспечивает отсутствие кавитационных режимов течения, стойкость к радиационному облучению, экологическую нейтральность.

Выводы. Выполненные исследования показали ряд существенных технико-технологических преимуществ аэростатических опор перед шарикоподшипниками и опорами с жидкостной смазкой в шпинделях технологических машин. Применение опор с газовой смазкой в шпинделях станков для механической обработки, особенно в высокоскоростных и прецизионных, позволяет улучшить их технические характеристики – повысить надёжность, увеличить максимальную частоту вращения или скорость резания, повысить точность позиционирования инструмента, снизить время выхода шпинделя на рабочий режим, обеспечить минимальные потери на трение и безударную работу с виброгашением в газовой смазке опор. В итоге, выше перечисленное приводит к повышению качества и производительности механической обработки, делает технологические машины более ресурсо- и энергосберегающими.

Л и т е р а т у р а

1. Дроздович, В. Н. Газодинамические подшипники [Текст] / В. Н. Дроздович. – Л.: Машиностроение, 1976. – 208 с.
2. Брешев, В. Е. Развитие теории и методов проектирования приводов бесконтактного типа с комбинированным и пассивным обеспечением устойчивости [Текст] : монография / В. Е. Брешев. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2016. – 208 с.
3. Константи́неску, В. И. Газовая смазка [Текст] / В. И. Константи́неску ; пер. с рум. Г. П. Махо ; под ред. М. В. Коровчинского. – М.: Машиностроение, 1968. – 709 с.
4. Пинегин, С. В. Прецизионные опоры качения и опоры с газовой смазкой [Текст]: справочник / С. В. Пинегин, А. В. Орлов, Ю. Б. Табачников. – М.: Машиностроение, 1984. – 216 с.
5. Опоры скольжения с газовой смазкой [Текст] / С. А. Шейнберг [и др.] – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1979. – 335 с.
6. Спришевский, А. И. Подшипники качения [Текст] / А. И. Спришевский. – М.: Машиностроение, 1968. – 632 с.
7. Пинегин, С. В. Статические и динамические характеристики газостатических опор [Текст] / С. В. Пинегин, Ю. Б. Табачников, И. Е. Сипенков. – М.: Наука, 1982. – 265 с.
8. Сипенков, И. Е. Прецизионные газовые подшипники [Текст] / И. Е. Сипенков [и др.]. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ Электроприбор, 2007. – 504 с.
9. Брешев, В. Е. Приводы машин на регулируемых конических аэростатических опорах [Текст] : монография / В. Е. Брешев, А. В. Брешев. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2016. – 204 с.

Breshev V.E.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL ADVANTAGES OF USING AEROSTATIC SUPPORTS IN THE SPINDLES OF TECHNOLOGICAL MACHINES

The analysis of the technical and technological advantages of aerostatic supports and support systems when they are used in the spindles of technological machines for mechanical processing of materials is carried out. Aerostatic supports have sufficient levels of rigidity and bearing capacity, provide the highest possible speeds of rotation and cutting, a high level of accuracy of positioning of working bodies with the tool, are the most resource- and energy-saving with the actual absence of wear of the supporting surfaces. This makes it possible to effectively use aerostatic supports and support systems in technological equipment for high-speed and high-performance mechanical processing of materials.

Key words: noncontact drive, aerostatic support, machining, spindle.

Брешев Владимир Евгеньевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Станки,

инструменты и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Breshev Vladimir Evgen'evich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department "Machines, Tools and Engineering Graphics" Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновационной деятельности ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Статья подана 20.05.2023 года

УДК 378.147

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ РАБОЧИХ КАДРОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ (ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ ГОУ СПО ЛНР «ЛУГАНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»)

Димитриев А. С.

STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF TRAINING QUALIFIED WORKERS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION (FROM THE EXPERIENCE OF THE STATE EDUCATIONAL INSTITUTION OF THE LNR "LUGANSK TECHNOLOGICAL COLLEGE")

Dimitriev A. S.

Стратегия развития системы среднего профессионального образования в совокупности с типом организационной культуры образовательной организации определяют ключевое направление развития и политику в области управления. В этом случае, стратегия развития обеспечивает эффективное использование потенциала руководителя образовательной организации, направляя энергию сотрудников в едином направлении. Организационная культура, стиль руководства образовательной организацией выступают показателями формирования стратегии развития, что в свою очередь тесно связано с формированием в образовательной организации среднего профессионального образования стиля управления руководителем.

Ключевые слова: структурные компоненты, среднее профессиональное образование, повышение квалификации, системно-деятельностный подход, стратегия развития образования.

Введение. В июле 2013 года коллегией Минобрнауки РФ была утверждена Стратегия развития системы подготовки рабочих кадров и формирования прикладных квалификаций на период до 2020 года. По итогам проделанной работы с начала текущего года формируются новые направления развития СПО до 2030 года. В настоящее время по всей стране функционируют свыше 3,6 тыс. колледжей, в которых обучаются более 3 млн. человек. Созданы свыше 12 тыс. учебно-лабораторных зданий, в которых трудятся порядка 360 тыс. педагогов и мастеров производственного обучения. Это внушительные показатели, подтверждающие высокий престиж рабочих профессий.

Система СПО призвана обеспечить экономику Республики квалифицированными кадрами, решив

главный вопрос: каких специалистов готовить, в каком объеме и к какому времени [1, с. 144-148].

Для достижения поставленных целей сформирована новая структура управления на федеральном уровне – Департамент государственной политики в сфере среднего профессионального образования и профессионального обучения. Основной акцент сделан на развитии содержания и повышении качества СПО. Проведена реорганизация подведомственного учреждения, выполняющего функции обновления содержания образования: Межрегиональный институт повышения квалификации специалистов профессионального образования переименован в Институт развития профессионального образования. Создан партнерский совет по взаимодействию с работодателями в рамках повышения качества подготовки кадров по запросу экономики [2, с. 22-23].

Приоритетные направления реализации Стратегии развития системы подготовки рабочих кадров и формирования прикладных квалификаций в РФ на период до 2030 года:

- актуализация существующих ФГОС и разработка новых с учетом конгломерации квалификаций, профессий и специальностей (образовательная программа собирается по принципу «конструктора компетенций»;

- учет профстандартов при разработке примерных образовательных программ (не ФГОС), обеспечение вариативности и гибкости ОП с тонкой настройкой под запросы конкретных работодателей, сокращение сроков обучения по программам СПО;

- возобновление работы реестра примерных ООП в части образовательных программ СПО с обновлением соответствующей нормативной базы;

- формирование концептуальных подходов к разработке, использованию и обновлению учебных пособий, усиление контроля их качества, восполнение нехватки учебников по профес-сиональным циклам;

- повышение качества общеобразовательной подготовки посредством обновления методик и технологий преподавания с учетом профессиональной направленности программ СПО, включением элементов интенсивного обучения, прикладных модулей, применением ДОТ и ЭО, сетевых форм обучения, проведением ежегодных проверочных работ;

- аттестация и независимая оценка полученных компетенций студентов и выпускников СПО и их готовности к выходу на рынок труда в виде демонстрационного экзамена (на реальных практических задачах);

- улучшение инфраструктуры и повышение уровня материально-технической оснащенности колледжей, создание мастерских, соответствующих современным международным стандартам, малых инновационных предприятий, учебно-производственных участков, на которых студенты смогут работать и зарабатывать параллельно с учебой [3, с. 120-121].

Особенно хотелось бы отметить, что система СПО не стоит на месте и в нашей Республике. Образовательные организации среднего профессионального образования динамично интегрируют в образовательное пространство Российской Федерации. Так, например Государственное образовательное учреждение среднего профессионального образования Луганской Народной Республики «Луганский технологический колледж», благодаря помощи шефов-регионов обновил материальную базу учебно-производственной мастерской «Сварочное производство», которая в июне 2023 г. пополнилась 4 сварочными постами, а также сварочными аппаратами для полуавтоматической и аргоно-дуговой сварки.

Также, в колледже ведется планомерная работа по повышению эффективности деятельности образовательной организации через рыночные механизмы, развитие внебюджетной деятельности (сотрудничество с предприятиями – социальными партнерами, обучение незанятого населения, участие в Национальном проекте «Демография», в колледже внедряются новые экономические механизмы привлечения и закрепления высококвалифицированных специалистов из секторов экономики в качестве преподавателей, работающих по совместительству (руководящие работники ГУП «Луганский протезно-ортопедический завод», ООО «ЛЗТА Маршал»,

ЧАО «Лугцентрокуз им. С.С. Монятовского», ООО «Лугасталь», ООО «Набат».

Для решения поставленных перед системой СПО задач в рамках вышеперечисленных направлений будут привлекаться средства из различных источников: ресурсы образовательных организаций СПО, средства федерального бюджета и бюджетов субъектов РФ, внебюджетных частных инвесторов, в том числе в контексте реализации механизма государственно-частного партнерства, и других участников финансово-хозяйственной деятельности [4].

В последнее время в контексте развития экономики и трансформации рынка труда в регионах очень быстро меняется структура квалификаций и потребностей в кадрах. При этом механизм пересмотра стандартов, учебных планов и программ носит рутинный и трудоемкий характер. В разработке нуждаются новые подходы к формированию учебно-программной документации, которые помогут учреждениям СПО избавиться от ее избыточности и сосредоточиться на конкретной работе по подготовке специалистов.

Сейчас стоит острая необходимость цифровой трансформации профобразования. Электронные ресурсы, которые достаточно успешно используются на других уровнях образования, далеко не в полной мере задействованы в системе СПО. Существуют проблемы с материально-технической базой, которые проявились в условиях интенсивного развития дистанционного образования, технологий, кадров, контента. Организации профобразования, как правило, весьма слабо ориентируются в огромном массиве разработок на рынке услуг. Поэтому задача эффективного использования ресурсов преподавателями и руководителями становится приоритетной [5, с. 56-59].

Сейчас организации СПО испытывают нехватку литературы и методического сопровождения подготовки кадров. В три раза сократился выпуск современных учебников, многие дидактические и методические пособия вступают в противоречие с инновационными технологиями, которые внедряются в систему СПО.

Для укрепления единого образовательного пространства должны занять достойное место три тезиса: социальные стандарты, межбюджетные отношения и рейтингование колледжей и систем профобразования. Необходимо снять ограничения для абитуриентов, обеспечив соблюдение их конституционных гарантий и прав на доступное среднее профобразование независимо от места проживания. Должна быть сформирована современная система вариативного профессионального управления подготовкой кадров на уровне регионов с полным выполнением гарантий автономии и самостоятельности образовательных организаций в соответствии с

федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации».

Литература

1. Алексеева, Л. Н. Инновационные технологии как ресурс эксперимента /Л. Н. Алексеева // Учитель. - 2021. - № 3. - с. 144-148.
2. Бонуэлл, Ч. К. Непрерывность активного обучения: выбор видов деятельности для активизации учебной работы студентов в аудитории / 209 Ч. К. Бонуэлл, Т. Е. Сазерленд; перевод с английского Л. Г. Кирилук / Университетское образование от эффективного преподавания к эффективному учению: сборник рефератов, статей по дидактике высшей школы / Белорусский государственный университет; Центр проблем развития образования. - Минск, 2019. - с. 22-23.
3. Жук, А. И. Активные методы обучения в системе повышения квалификации педагогов / А. И. Жук, Н. Н. Кошель. - Москва: Аверсэв, 2020. - с. 120-121.
4. Инновационные школы России: становление и развитие. Опыт программно-целевого управления: пособие для руководителей образовательных учреждений / М. М. Поташник; Российская академия образования, Институт управления образованием. - Москва: Новая школа, 2020.
5. Лазарев, В. С. Понятие педагогической и инновационной системы школы / В. С. Лазарев // Сельская школа. - 2019. - № 1. - с. 56-59.

Dimitriev A.S.

STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF TRAINING QUALIFIED WORKERS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION (FROM THE

EXPERIENCE OF THE STATE EDUCATIONAL INSTITUTION OF THE LNR "LUGANSK TECHNOLOGICAL COLLEGE")

The development strategy of the secondary vocational education system, together with the type of organizational culture of the educational organization, determine the key direction of development and management policy. In this case, the development strategy ensures the effective use of the potential of the head of the educational organization, directing the energy of employees in a single direction. Organizational culture, leadership style of an educational organization are indicators of the formation of a development strategy, which in turn is closely related to the formation of the management style of the head in an educational organization of secondary vocational education.

Keywords: structural components, secondary vocational education, advanced training, system-activity approach, education development strategy

Димитриев Андрей Степанович, кандидат педагогических наук, доцент, директор ГОУ СПО ЛНР «Луганский технологический колледж».

E-mail: lpltdo@mail.ru

Dimitriev Andrey Stepanovich, candidate of pedagogical sciences, associate professor, director of the GOU SPO LNR Lugansk technological college.

Рецензент: Прихода Игорь Викторович, доктор пед. наук, доцент, профессор кафедры индустриально-педагогической подготовки ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени В. Даля».

Статья подана 04.05.2023

УДК 377.1

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТРУДОВОГО ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ КАК ФАКТОРЫ КАЧЕСТВЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Димитриева О. А.

IMPROVING THE QUALITY OF LABOR TRAINING AND EDUCATION AS A FACTORS OF QUALITY EDUCATION IN THE SYSTEM OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION

Dimitrieva O. A.

В данной научной статье рассмотрена сущность трудового воспитания студентов образовательных организаций среднего профессионального образования. Также, автором определены методы трудового воспитания, формы организации внеклассной работы по трудовому воспитанию. Рассмотрено, что объектом трудового воспитания выступают, прежде всего, качества личности, характеризующие отношение студента к себе, к людям, к обществу, труду, к ценностям жизни. Проведен анализ научной литературы на тему повышения качества трудового обучения и воспитания с применением форм и методов трудового воспитания для студенческой молодежи.

Ключевые слова: организация труда, воспитательное влияние, методы трудового воспитания, интерес к труду, формы трудовой деятельности, образовательная организация среднего профессионального образования.

Введение. Важный аспект психологической подготовки студенческой молодежи к труду - формирование чувства ответственности, понимание необходимости самому заботиться не только о себе, но и об окружающих. Все это в будущем станет основой для материального благополучия выпускника образовательной организации среднего профессионального образования [1, с. 336].

Сущность трудового воспитания состоит в организации трудовой деятельности студентов образовательных организаций среднего профессионального образования с целью выработки у них трудолюбия, стремления к постоянному улучшению качества труда, творческого подхода и энтузиазма, активного участия в труде. Положительное отношение к труду воспитывается наряду с методами разъяснения и убеждения, методами упражнения. Постоянные упражнения приводят к хорошим результатам труда, что приносит радость и желание трудиться снова, формируя трудолюбие. Трудолюбие является

личностным качеством и определяется наличием таких элементов, как мотивация к трудовой деятельности, сознательное осуществление трудовой деятельности как блага для себя и общества, наличие трудовых умений и навыков, силу воли, необходимую для преодоления сложностей, возникающих в процессе трудовой деятельности [2, с. 209].

Главная составляющая системы трудового воспитания - трудовое обучение, которое длится с первого курса до окончания обучения в образовательной организации среднего профессионального образования.

Одним из основных факторов подготовки студенческой молодежи к труду в настоящее время является формирование ответственности и необходимости самому заботиться о себе. Это способствует развитию в характере студента ответственности, инициативности, творческого подхода к делу.

Система трудового воспитания студенческой молодежи охватывает учебную работу, трудовое обучение, общественно полезный труд, бытовое обслуживание, и конечно, волонтерскую работу.

Хотелось бы отметить, что в Государственном образовательном учреждении среднего профессионального образования Луганской Народной Республики «Луганский технологический колледж» действует волонтерский отряд «Доброволец». Это добровольное объединение студентов колледжа, участвующих в творческой, социально-полезной, социально-значимой деятельности. Отряд волонтеров создан с целью создания условий для развития и реализации организаторского, творческого и интеллектуального потенциала социально-активных подростков колледжа. Студенты - участники отряда в свободное от учебы время оказывают адресную помощь ветеранам войны, труда, труженикам тыла,

одиноким пенсионерам; поздравляют их с праздниками; ухаживают за городскими памятниками; осуществляют охрану и сохранность природы родного края; разрабатывают и реализовывают социальные проекты, мероприятия и акции. Также участники волонтерского отряда «Доброволец» занимаются организацией шефской помощи детям с ограниченными возможностями здоровья и разрабатывают проекты, направленные на пропаганду идей здорового образа жизни среди молодежи, профилактику курения, алкоголизма, употребления наркотиков.

Все эти виды трудовой деятельности тесно взаимосвязаны, но каждый из них играет важную роль в формировании духовно-нравственной личности.

Для того чтобы работа стала эффективным средством трудового воспитания необходимы такие факторы как целеустремленность, связь с учебной деятельностью, своей будущей профессией, (специальностью), осознание того, что воспитательная эффективность труда возрастает в условиях, когда воспитанники являются ее организаторами, а не только исполнителями [3, с. 56].

Цель трудового воспитания - сформировать у студентов образовательных организаций среднего профессионального образования, добросовестное, творческое, ответственное отношение к труду, отношение к труду как нравственной ценности, и, в конечном итоге – отношение к труду как ценности.

Психологическая подготовка к труду включает в себя сформированность убеждений в необходимости трудиться, развитие стремления и потребности трудиться, формирование ценных мотивов трудовой деятельности, воспитание уважения к людям труда, к труду других людей, к результатам их труда.

Все вышеизложенные направления составляют следующие задачи трудового воспитания:

- формирование у студентов положительного отношения к труду как к ценности, высоких социальных мотивов трудовой деятельности;
- развитие у студентов познавательного интереса к знаниям;
- воспитание у студентов трудолюбия, чувства долга и ответственности, целеустремленности и предприимчивости, деловитости и честности;
- формирование у студентов трудовых умений и навыков, основ культуры умственного и физического труда [4, с. 112].

Для того, чтобы в полной мере использовать открывшиеся в работе возможности, студенты должны находиться в сопровождении взрослых, в том числе и педагогических работников (мастеров производственного обучения и т. д.). Деятельность педагога является неотъемлемым условием развития психики в процессе работы со студентом [5, с. 56].

Труд имеет большое значение в развитии способностей студента. Способности развиваются,

главным образом, в условиях ведущей деятельности – в профессионально-трудовой подготовке.

Например, в процессе труда, становится чрезвычайно широким распределение внимания, а его переключение, быстрым. Огромная роль труда в развитии мышления. В меру овладения трудовыми навыками развиваются его новые формы: техническое, практическое, логическое. В процессе общения, в трудовом коллективе, происходит развитие новых чувств. Включаясь в трудовой процесс, студент коренным образом меняет свое представление о себе и об окружающем мире. Радикальным образом меняется и самооценка. В процессе общения и овладения новыми знаниями формируется окружающий мир студента. Работа в коллективе развивает социализацию личности студента, особенно это важно на младших курсах обучения. Развитие способностей, чувств и мышления делает личность гармоничной и всесторонне развитой. Следовательно, труд является важнейшим фактором, влияющим на развитие личности студента.

Мотивация является особенно важной в трудовом воспитании студентов, она побуждает их к труду. Именно с мотивацией связано формирование отношения к труду, как к основной ценности [6, с. 9-20].

Согласно этому критерию методы воспитания объединяются в три группы:

- 1) методы стимулирования поведения;
- 2) методы формирования сознания;
- 3) методы организации деятельности и формирования опыта поведения студентов.

Распределение методов по группам в значительной мере условно, потому что личность формируется целиком, не по частям, потому что сознание, отношения, оценки и поведение формируются в единстве в любых обстоятельствах и под влиянием намеренных или случайных действий.

Выделяют три основные функции методов воспитания:

- формирование отношений, установок, направленности, убеждений и взглядов воспитанников – всего того, в основе чего лежат знания о нормах поведения, о социальных ценностях и о духовной нравственности.
- реализация в деятельности принципа воспитания. Антон Семенович Макаренко учил нас, что нельзя развивать мужество или другое качество личности, не создав условия для проявления мужества, справедливости, доброты. Задача преподавателей, мастеров производственного обучения, заместителей директора по учебно-воспитательной работе, социального педагога и практического психолога образовательной организации среднего профессионального образования – создать такие условия.
- регулирование поведения, влияние на мотивы и характер деятельности студенческих коллективов.

Литература

1. Аксенов, Д.Е. О трудовом воспитании: учебное пособие для студ. пед. ин-тов / Д.Е. Аксенов. - М.: Просвещение, 2019. - 336 с.
2. Бабанский, Ю.К. Педагогика: учебное пособие для студентов пед. ин-тов / Ю.К. Бабанский. - М.: Просвещение, 2019. - 209 с.
3. Болотина, Л.Р. Педагогика // Л.Р. Болотина, С.П. Баранов, Л.Г. Семушкина. - М.: Просвещение, 2019.- 56 с.
4. Бондаренко, А.К. Воспитание детей в игре // А.К. Бондаренко, А.И. Матусин. - М.: Просвещение, 2016.-112 с.
5. Вайсбург, А.А. Организация профориентационной работы школы, ПТУ, предприятия: пособие для учителя / А.А. Вайсбург; под ред. М.И. Махмутова. - М.: Просвещение, 2020. - с.56.
6. Возрастная и педагогическая психология / под ред. А.В. Петровского. - М., 2019.- с. 9-20.

Dimitrieva O. A.

IMPROVING THE QUALITY OF LABOR TRAINING AND EDUCATION AS A FACTORS OF QUALITY EDUCATION IN THE SYSTEM OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION

In this scientific article the essence of labor education of students of educational organizations of secondary vocational education is considered. Also, the author defines methods of labor education, forms of organization of extracurricular

work on labor education. It is considered that the object of labor education is, first of all, personality qualities that characterize the student's attitude to himself, to people, to society, to work, to the values of life. The analysis of scientific literature on the topic of improving the quality of labor training and education with the use of forms and methods of labor education for students is carried out.

Keywords: organization of labor, educational influence, methods of labor education, interest in work, forms of labor activity, educational organization of secondary vocational education.

Димитриева Ольга Александровна, преподаватель дисциплин общепрофессионального и профессионального циклов ГОУ СПО ЛНР «Луганский технологический колледж».

E-mail: lpltdo@mail.ru

Dimitrieva Olga Alexandrovna, teacher of disciplines of general professional and professional cycles of the Lugansk Technological College.

Рецензент: Белых Александр Сергеевич, доктор педагогических наук, профессор кафедры педагогики ФГБОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет».

Статья подана 09.06.2023

УДК 613

СПОРТИВНАЯ ВЫНОСЛИВОСТЬ И ЕЁ РАЗВИТИЕ

Карпов А. А.

SPORTS ENDURANCE AND ITS DEVELOPMENT

Karpov A. A.

Физическое воспитание – важнейшая часть студенческой жизни. Влияние физического воспитания на формирование личности студента играет также немалую роль в его социальной активности и жизни в целом.

Ключевые слова: физическая культура, здоровье, высшее образование, молодежь.

Введение. Выносливость – это физические возможности (качества) человека, выражающиеся в способности противостоять физическому переутомлению в процессе мышечной деятельности. Выносливость играет важную роль в оптимизации жизнедеятельности, выступает важной составляющей физического здоровья, в спортивной деятельности служит предпосылкой для развития других физических качеств.

Как успешно развивается качество у человека в процессе занятий физической культурой и спортом, во многом зависит от общей успешности этих занятий. Именно поэтому данная тема является актуальной.

Изложение основного материала. Выносливость – это способность человека длительное время выполнять любую деятельность без снижения ее эффективности.

Организм человека активно участвует во всех его деятельности, но разные части тела или системы выполняют основную работу в зависимости от типа активности. Когда спортсмен решает двигательную задачу, он сталкивается с переутомлением, которое имеет свои особенности в каждом конкретном случае. Переутомление может быть различного характера и влиять на разные системы организма. Например, умственная работа может вызывать усталость в мозге, а физическая активность может нагружать мышцы и суставы. Понимание того, как организм реагирует на переутомление и как его преодолеть, является важным аспектом для спортсменов и всех, кто заботится о своем здоровье и физической форме.

Выносливость – это многогранный концепт, охватывающий несколько аспектов. Во-первых, это устойчивость организма к нарастающей

утомляемости, то есть способность человека сохранять работоспособность в течение продолжительного времени. Во-вторых, это способность работать с максимальной интенсивностью на протяжении продолжительного периода времени. Третий аспект связан с мобилизацией психофизических резервов, то есть способностью эффективно использовать запасы энергии и сил во время физической или умственной нагрузки. Кроме того, выносливость также связана со способностью успешно выступать в соревновательной деятельности. Это включает в себя не только физическую выносливость, но и умение сохранять концентрацию, стратегическое мышление и решительность в сложных ситуациях.

Длительность физических нагрузок также является важным аспектом выносливости. Человек с хорошей выносливостью способен продолжать физическую активность на протяжении длительного времени без значительного снижения производительности. При этом организм должен поддерживать стабильный баланс функций и систем, чтобы предотвратить переутомление и возникновение травм. Наконец, выносливость может быть специализированной или цельной. Узкоспециализированная выносливость связана с конкретным видом деятельности, например, бегом или плаванием. В то же время цельная выносливость означает общую способность организма справляться с различными видами физических и умственных нагрузок. В целом, выносливость играет важную роль в достижении успеха в различных сферах жизни, будь то спорт, работа или повседневные задачи. Развитие этого качества требует регулярных тренировок и поддержания здорового образа жизни.

В то же время интегральные свойства способности человека проявлять выносливость, проявляющиеся при реализации комплекса физических качеств, указывают на их неразрывную связь, поскольку их реализация обеспечивается одними и теми же биологическими механизмами. Поэтому условное выделение его в самостоятельную категорию в основном связано с

необходимостью классификации средств и методов, используемых в педагогических технологиях его развития.

В соответствии с принятой классификацией в теории и методике физического воспитания выделяют так называемые парные виды выносливости: силовую, скоростную, скоростно-силовую, координационно-двигательную и статическую.

Существует другая, более полная классификация различных форм проявления выносливости, сгруппированных по той или иной характеристике. Например: выносливость к работе циклического, ациклического или смешанного характера; выносливость к работе в определенной силовой зоне (максимальная, субмаксимальная, большая, средняя); статическая или динамическая выносливость; локальная, региональная или глобальная выносливость; аэробная или анаэробная выносливость; выносливость, скорость, сила или координация; общая или специальная выносливость; дистанция выносливости, игровая или многозаходная и др.

Однако нет таких двигательных действий, которые требовали бы проявления какой-либо формы выносливости в чистом виде. Например, силовая выносливость может носить аэробный или анаэробный характер, проявляться в циклических или ациклических упражнениях, в работе может быть задействовано небольшое количество групп мышц или практически все мышцы тела.

На практике обилие всех форм проявления выносливости обычно сводится к двум ее типам: общему и специальному.

Человеческая способность проявлять различные виды выносливости зависит от множества факторов. К ним относятся как социальные и личностные особенности, так и физическое развитие, состояние здоровья, спортивные навыки и устойчивость к стрессу. Эти факторы взаимодействуют, определяя нашу способность справляться с физическими и психологическими нагрузками. Например, здоровый образ жизни, регулярные тренировки и правильное питание могут значительно повысить уровень выносливости. Также важно уметь эффективно управлять своими эмоциями и стрессом, что поможет сохранять высокую работоспособность в трудных ситуациях. Все эти аспекты влияют на нашу способность проявлять выносливость в различных сферах жизни, будь то спорт, работа или повседневные задачи.

Возрастные особенности проявления выносливости. Повышение функциональных возможностей организма, ограничение выносливости происходит особенно значительными темпами в периоды, предшествующие взрослой жизни. Уже в конце подросткового возраста определяются самые высокие значения относительной МПК и показателей активности

кислородного обмена. Следовательно, в этом возрасте созревает часть предпосылок для проявления значительной аэробной выносливости.

Наибольшие значения МПК, предельных параметров кислородного долга и ряда других показателей функциональных возможностей, определяющих выносливость различных типов, наблюдаются у людей зрелого возраста. После 40 лет возрастной регресс выносливости постепенно становится более заметным.

Выносливость у занимающихся физической культурой и спортом оценивается на основе различных критериев и методик. Чтобы понять состояние и уровень развития выносливости, учитываются как общие, так и специфические показатели. Выбор этих показателей зависит от характера физической активности, для которой определяется выносливость. Одним из важных параметров, учитываемых при оценке, является время, в течение которого выполняется физическая активность.

Выносливость – это способность человека продолжать физическую деятельность на протяжении продолжительного времени. Она зависит от развития сердечно-сосудистой системы, дыхательной системы, мышц и других физиологических факторов. Показатели выносливости могут включать такие параметры, как пульс, дыхание, уровень утомляемости, скорость выполнения задания и длительность активности.

Для оценки выносливости могут использоваться различные тесты, например, бег на дистанцию, плавание на время или эргометрический велотренажер. Эти тесты позволяют определить, насколько долго спортсмен может выполнять физическую активность, прежде чем он устанет. Кроме того, могут быть применены и другие методики, такие как анализ кислородного потребления или измерение максимальной потребляемой кислородной мощности. Оценка выносливости является важной частью тренировочного процесса в физической культуре и спорте. Она помогает спортсменам и тренерам определить эффективность тренировок и прогресс в достижении спортивных результатов. Правильная оценка выносливости позволяет разработать индивидуальные программы тренировок, улучшить физическую подготовку и достичь более высоких спортивных достижений.

При этом в одних условиях учитывается время, в течение которого возможно выполнение работ без снижения заданного уровня эффективности, оцениваемого по количественным и качественным критериям, в других – максимально возможное время для выполнения работы до отказа.

В практике физического воспитания интегральными внешними показателями выносливости чаще всего являются: в упражнениях циклического характера, направленный на преодоление дистанции, – в минимальное время,

чтобы преодолеть заданную и достаточно большое расстояние (например, 1 - 2 км) или (гораздо реже) общей длины расстояния, которое может быть пройдено в заданное время (например, в 12-минутном тесте Купера или в часовом беге); в последовательно повторяющихся упражнениях ациклического и комбинированного характера – общее число повторений (или общее количество движений) в данный момент времени (например, в 20 - 30 минут с высшей пробы в рамках схема подготовки); в сложных формах двигательной деятельности, таких как игры и единоборства – степень сохранения и изменения двигательной активности в течение установленного времени (с учетом количества эффективных атакующих и защитных действий в периоды игры или схватки и т.д.).

Если при прямом методе испытуемого просят выполнить какое-либо задание (например, бег) с заданной интенсивностью (60, 70, 80 или 90% от максимальной скорости), и сигнал об остановке теста является началом снижения скорости выполнения этого задания, то важно отметить, что на практике учителя физкультуры и спорта редко используют прямой метод, так как сначала нужно определить максимальные скоростные возможности испытуемых (бегом 20 или 30 м в движении), затем для каждого из них рассчитать заданную скорость и только после этого приступить к тестированию. В практике физического воспитания в основном используется косвенный метод, когда выносливость занимающихся определяется временем они преодолевают достаточно большое расстояние. Так, например, для учащихся начальной школы, длина дистанции, как правило, 600 - 800 м; средние классы - 1000 - 1500 м; старшие классы - 2000 - 3000 м.

Цели развития выносливости включают в себя развитие общей аэробной выносливости. Основной акцент делается на повышении общего уровня работоспособности в различных сферах деятельности, связанных с проявлением выносливости. В программе физического воспитания предусмотрен базовый уровень развития общей выносливости. Если заниматься спортом, то дальнейшее развитие общей выносливости осуществляется в соответствии с требованиями выбранного вида спорта. Основная задача развития специфической выносливости заключается в направленном развитии выносливости для улучшения двигательных способностей и специальной подготовки к конкретной деятельности. Важно отметить, что развитие специфической выносливости обычно начинается после достижения определенного базового уровня общей выносливости.

Средства для развития выносливости. В качестве основных средств развития выносливости обычно используются физические упражнения и их комплексы, характерными особенностями которых являются: активное функционирование

большинства или всех основных звеньев системы человеческого опорно-двигательного аппарата; сравнительно значительная общая продолжительность работы; умеренная, высокая, но не максимальная интенсивность.

Физические тренировки в самых разнообразных формах могут быть эффективным средством для развития выносливости, если они проводятся систематически и включают в себя все необходимые характеристики. Часто используются ациклические и смешанные гимнастические и игровые упражнения, которые повторяются множество раз для достижения нужного эффекта.

Также важным фактором является повышение интенсивности тренировок и использование других методически обоснованных подходов. В последние десятилетия особую популярность получила круговая тренировка, которая представляет собой организационно-методическую форму обучения. Она позволяет эффективно развивать специфическую выносливость. В этом случае используются целевые упражнения, которые способствуют развитию необходимой выносливости. Также проводятся специальные подготовительные упражнения, которые моделируют требуемые характеристики целевых упражнений.

Таким образом, физические упражнения различных форм могут быть эффективным инструментом для развития выносливости, особенно когда они проводятся систематически и включают в себя целевые и подготовительные упражнения. Круговая тренировка является одной из популярных методических форм, позволяющих достичь высокой эффективности тренировок.

Дополнительные средства развития выносливости, особенно аэробной выносливости, включают, в частности, так называемые дыхательные упражнения, настройку рационального дыхания при выполнении базовых упражнений и дозированное использование некоторых факторов окружающей среды: оксигенации вдыхаемого воздуха, барометрии, давления, температурные факторы и др.

Дыхательные упражнения представляют собой специально регулируемые циклы дыхательных актов, которые выполняются в определенных режимах и совмещаются с двигательными действиями. В рамках этих упражнений можно изменять частоту, глубину и ритм дыхания, а также контролировать объем воздуха, поступающего в легкие, и задержку дыхания. Рациональное дыхание подразумевает использование носового и орального дыхания в зависимости от уровня физической активности. При выполнении интенсивных упражнений рекомендуется усиленный выдох, а также согласование фаз дыхания с фазами движений. Кроме того, дыхательные упражнения могут включать использование факторов внешней среды, особенно в горных условиях, что

способствует улучшению аэробных возможностей организма и повышению его устойчивости к гипоксическим условиям.

Дыхательные упражнения являются важной частью тренировочной программы для спортсменов, а также могут быть полезными для людей, ведущих активный образ жизни или страдающих от дыхательных проблем. Они помогают улучшить работу легких, увеличить емкость легочной вентиляции и улучшить кислородопоступление к мышцам. Правильное дыхание также способствует снятию стресса и расслаблению, поэтому дыхательные упражнения могут быть полезными для улучшения психоэмоционального состояния. Они могут быть простыми и доступными для выполнения в любой ситуации, а их регулярная практика может принести значительные выгоды для общего здоровья и благополучия.

Средствами для развития специальной выносливости могут быть: общеразвивающие упражнения с предметами: молодые люди - с макетами шаров 3 - 5 кг, гантели до 8 кг, вес 16 и 24 кг; упражнения на тренажерах; девушки - обручами, булавами, скакалкой, большими мячами; упражнения на брусьях и перекладине (юноши), упражнения на бревне и брусьях (девушки); эстафеты, игры, полосы препятствий с использованием гимнастических снарядов и др.

Выводы. Развитие выносливости является важным аспектом, который позволяет человеку выполнять длительные физические нагрузки без ухудшения их эффективности. Для достижения этой цели существует множество методов и средств, которые применяются в физическом воспитании и спортивной тренировке.

Важно отметить, что выносливость может быть общей, касающейся различных видов физкультурно-спортивной деятельности, и специальной, относящейся к конкретному виду активности. Первоначально необходимо развивать общую выносливость, а затем на ее основе формировать специальную. Общая выносливость позволяет человеку справляться с разнообразными физическими нагрузками, укрепляет сердечно-сосудистую систему, повышает емкость легких и общую физическую выносливость организма. Для ее развития рекомендуется заниматься кардиотренировками, такими как бег, плавание или велосипедная езда. Специальная выносливость, напротив, направлена на улучшение выносливости в определенной сфере деятельности. Например, спортсмены, занимающиеся бегом на длинные дистанции, должны развивать специальную выносливость в ногах и сердечно-сосудистой системе. Для этого они могут использовать

тренировки с повышенной интенсивностью, такие как интервальные тренировки или подъемы по лестницам.

Важно отметить, что развитие выносливости требует постепенного увеличения нагрузок и регулярной тренировки.

Постепенно увеличивая интенсивность и продолжительность тренировок, можно достичь значительного прогресса в развитии выносливости.

Методика развития общей, а затем специальной выносливости предполагает использование так называемых циклических видов физических упражнений (бег, гребля, плавание) с постепенным увеличением интенсивности и длины дистанции, а также спортивных игр.

Л и т е р а т у р а

1. Козлов А. В. Альтернативная методика спортивно ориентированного физического воспитания студентов гуманитарных вузов. // Воронеж, 2006. – 178 с.
2. Осипов А. Ю., Гольм Л. А. Михайлова С. А. Формирование здоровьесберегающих компетенций будущих специалистов средствами физического воспитания. // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2012. № 2 (39). – Т. 2. – С. 178-182.
3. Щербатых Ю. В. Вегетативные проявления экзаменационного стресса. // СПб., 2001. – 32 с.

Karpov A.A.

SPORTS ENDURANCE AND ITS DEVELOPMENT

The problem of the deterioration of physical fitness and health of student's youth is an important public issue. The aim of this study is to identify factors that have a negative impact on student health and the identification of methods to combat them.

Key words: physical education, health, education at university level, youth.

Карпов Александр Алексеевич, старший преподаватель кафедры общинженерных дисциплин Стахановского инженерно-педагогического института (филиала) ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Стаханов.
E-mail: karpovaleksandr1858@gmail.com

Karpov Alexander Alekseevich, Senior Lecturer of the Department of General Engineering Disciplines of the Stakhanov Engineering and Pedagogical Institute (branch) of the «LSU named after V. Dahl», Stakhanov.

Рецензент: Авершин Андрей Александрович, кандидат психологических наук, доцент, директор Стахановского инженерно-педагогического института (филиала) ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет им. Владимира Даля», г. Стаханов

Статья подана 15.06.2023 г.

УДК 37.032

PERSONALITY DEVELOPMENT AS A PEDAGOGICAL PROBLEM**Kuz E. V.****РАЗВИТИЕ ЛИЧНОСТИ КАК ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА****Кузь Е. В.**

The article deals with the problem of personality development and disclosure of the essence of this issue in the context of pedagogical practice. The main factors operating in the process of personality development are determined. The importance of increasing the self-awareness and self-esteem of students, the development of their intellectual abilities, creativity is considered. The significance of pedagogical work on the personality development of every student, the continuous improvement of pedagogical methods and approaches, as well as the provision of support and stimulation for self-development of students is emphasized.

Key words: *personality, personality development, pedagogical problem, self-development, independence, self-determination, socialization, education, self-education, value orientations formation, intellectual and creative abilities development.*

The problem of personality development is one of the most important in pedagogics. A person's personality is a unique set of individual characteristics that is formed during life under the influence of external and internal factors. Personal development is a process of formation and self-knowledge, awareness of one's capabilities and striving for self-realization. The pedagogical task is to develop and reveal all the possibilities and abilities of the individual, the potential and creative self-expression of each student.

The theoretical aspects of the upbringing and development of the personality, the definition of its content, were of interest to both researchers of the past (A. Makarenko, V. Sukhomlinsky) and modern scientists (D. Belukhin, A. Boyko, V. Rybalko, etc.). The works of such scientists as A. Leontiev, B. Lomov, K. Platonov, V. Aseev, L. Bozhovich, B. Zeigarnik are devoted to the conceptual provisions on the personality formation.

Despite a large number of studies and a large amount of published work, the problem of personality development cannot be considered solved. It is always relevant and very important, given the objective need of society to form a harmonious, holistic, comprehensively developed personality.

The purpose of the article is to study the state of the problem of personality development and to reveal

the essence of this issue in a pedagogical context. For our study, it is important to determine the main factors operating in the process of personality development.

Personal development is a continuous and extremely complex process in which many factors, both spontaneous and purposeful, operate. Based on the works of psychologists B. Ananiev [1] and V. Merlin [5], it can be argued that personality development is a set of processes of qualitative change in the psychological integrity of a person, improvement of his functional readiness, formation of operating systems, as well as such mental neoplasms that provide the individual with the opportunity to relatively successfully solve his life problems.

In pedagogics the task arises to create conditions for the full and harmonious development of the individual. Modern theories of personality development highlight several key aspects that are important for pedagogical practice. First, it is the development of personality as self-development. The student must be an active participant in his development, be aware of the goals and objectives, participate in decision-making and independently implement them. Pedagogical practice should stimulate the student to independence, self-determination and self-regulation.

The following most important factors influencing the development of personality, socialization and education.

Socialization is a two-way process that involves the assimilation of the social experience of society and the participation of education in the system of social ties. Socialization is carried out under the influence of objective and subjective factors of life circumstances. Conventionally, they are divided into such groups as macrofactors (society, state, world, planet, space), microfactors (family, educational institutions, public organizations, peer associations, mass media, other educational institutions), mezafactors (ethno-cultural conditions and type of population where a person lives and develops). In pedagogical science, personality development includes the development of social competencies. The student must learn to communicate effectively, cooperate, work in a team and show tolerance and respect for other people. Teaching

practice should help students develop social skills, adapt to a changing world, learn and be ready to cooperate.

Education is a purposeful management of the process of personality development. Education is under complete social and pedagogical control and is carried out through the education and organization of the life of pets. It is in it that the interaction of objective and subjective factors in the development of personality takes place. Considering the process of upbringing as a two-sided one, it should be noted that it is in this process that the interaction of objective and subjective factors in the development of the personality takes place.

Personal development is determined not only by education, but also by self-education. These two processes are deeply interdependent and solve a single problem. Their difference lies in the fact that if education means the influence of other people on the personality, then self-education comes from the personality. Self-education begins a little later than education. If education begins from the moment a person is born, then self-education starts from the moment of maturation of his consciousness. This boundary is extremely mobile and different for different people.

Purposeful self-education is a complex struggle of a person with himself and requires effective techniques and methods. One of the leading methods of self-education is self-education. A modern specialist must have the ability to independently acquire new knowledge. Self-education comes from the personality and is regulated by the personality itself [2, p. 147]. A person must independently strive to develop his abilities, constantly learn and improve. The pedagogical process should include the stimulation of self-development, the formation of pupils' motivation for development and self-education.

Personal development is associated with the formation of value orientations. Education of values is one of the main tasks of the teacher. It should help the student to define his values, develop ethical awareness and moral qualities. Personal development in pedagogics includes the formation of a student's moral responsibility, the ability to make good and right decisions, as well as participation in public life.

Personal development involves the development of the intellectual and creative abilities of the student. Pedagogical practice should create conditions for the development of students' critical thinking, independence of mental activity, creative thinking and the ability to solve non-standard problems. This will help students learn the skills of independent study, critical analysis, the search for new solutions and bold experimentation.

Since one of the goals of personality development in pedagogics is the formation of the moral and ethical component of the personality, education aimed at personality development sets itself the task of forming students as morally responsible and aware of their role in society. To achieve this goal, personality development pedagogics uses various methods and

techniques, such as discussing ethical problems, modeling moral situations, and forming value orientations.

Summing up the above, we note that the problem of personality development in pedagogics is complex and multifaceted. It requires an individual approach, education of moral values, stimulation of self-development and creation of conditions for the harmonious development of the individual throughout life. The theoretical and practical significance of the problem of the all-round harmonious development of the individual, the achievement of an appropriate level of development by it as a necessary condition for the improvement of society, sets the task of uniting the intellectual and volitional spheres of a person's spiritual life.

Pedagogics can successfully solve the tasks assigned to it, based on knowledge of the laws of personality development, taking into account psychological characteristics.

References

1. Ananiev B.G. Man as an object of knowledge / B.G. Ananiev. – St. Petersburg: Peter, 2001. – 288 p.
2. Glazenko S.G., Kachaeva T.M. Some aspects and principles of the process of educating students at the university / S.G. Glazenko, T.M. Kachaeva // Young person personality formation at school and university. Sat. articles. – Vladivostok: Publishing House of the Far Eastern University, 2001. – P. 145-148.
3. Davydov V.V. Theory of developing learning: problems and research / V.V. Davydov. – Moscow: OPTS "INTOR", 2008. – 541 p.
4. Laptev V.V., Fedotova N.A. Psychological foundations of personality development / V.V. Laptev, N.A. Fedotov. – Moscow: Academy, 2006. – 296 p.
5. Merlin V.S. Essay on the theory of temperament / V.S. Merlin – Perm: PSGPU, 2018. – 461p.
6. Serikov V.V. Personal development in the educational process: monograph / V.V. Serikov. – M.: Logos, 2020. – 448 p.
7. Chuprasova V.I. Influence of education on the formation and development of the personality of students in the process of socialization / V.I. Chuprasova // Formation of the personality of a young person at school and university. Sat. articles. – Vladivostok: Publishing House of the Far Eastern University, 2001. – P. 40-52.
8. Shakhno A.V., Lazurkina V.F. Personality and Pedagogy: Theory and Practice of Development / A.V. Shakhno, V.F. Lazurkina. – Moscow: Academy, 2012. – 245 p.

Литература

1. Ананьев Б.Г. Человек как предмет познания / Б.Г. Ананьев. – СПб.: Питер, 2001. – 288 с.
2. Глазенок С.Г., Качаева Т.М. Некоторые аспекты и принципы процесса воспитания студентов в вузе / С.Г. Глазенок, Т.М. Качаева // Формирование личности молодого человека в школе и ВУЗе. Сб. статей. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 2001. – С.145-148.
3. Давыдов В.В. Теория развивающего обучения: проблемы и исследования / В.В. Давыдов. – Москва : ОПЦ "ИНТОР", 2008. – 541 с.

4. Лаптев В.В., Федотова Н.А. Психологические основы развития личности / В.В. Лаптев, Н.А. Федотова. – Москва: Академия, 2006. – 296 с.

5. Мерлин В.С. Очерк теории темперамента / В.С. Мерлин – Пермь : ПГГПУ, 2018. – 461 с.

6. Сериков В.В. Развитие личности в образовательном процессе: монография / В.В. Сериков. – М.: Логос, 2020. – 448 с.

7. Чупрасова В.И. Влияние воспитания на формирование и развитие личности учащихся в процессе социализации / В.И. Чупрасова // Формирование личности молодого человека в школе и ВУЗе. Сб. статей. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 2001. – С.40-52.

8. Шахно А.В., Лазуркина В.Ф. Личность и педагогика: теория и практика развития / А.В. Шахно, В.Ф. Лазуркина. – Москва: Академия, 2012. – 245 с.

Кузь Е.В.

РАЗВИТИЕ ЛИЧНОСТИ КАК ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

В статье рассматривается проблема развития личности и раскрытия сути данного вопроса в контексте педагогической практики. Определяются главные факторы, действующие в процессе развития личности. Рассматривается значимость повышения самосознания и самооценки учащихся, развитие их интеллектуальных способностей, творческого потенциала. Подчеркивается

важность педагогической работы по развитию личности каждого учащегося, постоянного совершенствования педагогических методов и подходов, а также обеспечения поддержки и стимулирования саморазвития учащихся.

Ключевые слова: личность, развитие личности, педагогическая проблема, саморазвитие, самостоятельность, самоопределение, социализация, воспитание, самовоспитание, формирование ценностных ориентаций, развитие интеллектуальных и творческих способностей.

Кузь Екатерина Владимировна, старший преподаватель кафедры иностранных языков ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: k.ekaterina@mail.ru

Kuz Ekaterina, Senior lecturer of the Department of Foreign Languages, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Белых Александр Сергеевич, доктор педагогических наук, профессор кафедры педагогики ФГБОУ ВО «Луганский государственный педагогический университет».

Статья подана 04.06.2023

УДК 621.9

ЧИСТОВАЯ ОБРАБОТКА ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Мельникова Е. П., Покинтелица Н. И.

FINISHING MACHINING OF CYLINDRICAL GEAR WHEELS TEETH

Melnikova E. P., Pokintelitsa N. I.

В работе рассматривается процесс чистовой обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес при помощи притиров, полученных согласно схеме формообразования третьего класса. Приводятся основные геометрические и кинематические параметры обработки зубьев при помощи предложенного инструмента. Получена возможность прогнозировать качество обработанных зубьев еще на стадии проектирования инструмента.

Ключевые слова: притир, зубчатое колесо, геометрия, кинематика, скорость скольжения, контактная линия.

В качестве чистовой обработки цилиндрических зубчатых колес на большинстве машиностроительных предприятиях применяется процесс их притирки при помощи притиров, работающих в пространственном станочном зацеплении. Такая обработка предусматривает два взаимосвязанных вращения вокруг оси зубчатого колеса и оси притира, выполненного в виде зубчатого колеса. Эту финишную обработку можно представить как качение со скольжением цилиндра, представляющего собой обрабатываемую заготовку по поверхности инструмента, полученного как огибающая обрабатываемого зубчатого колеса. На практике зубообрабатывающий инструмент, из-за сложности его изготовления, изготавливается на цилиндрической заготовке. В этом случае заготовка движется вдоль своей оси, с целью обработки новых участков поверхности зуба. При использовании описанной схемы формообразования контакт между поверхностью обрабатываемого зуба и поверхностью зубообрабатывающего инструмента будет точечным.

Процесс притирки зубьев цилиндрических зубчатых колес можно представить как кинематическую пару цилиндрических зубчатых колес с точечным касанием сопряженных поверхностей их зубьев. Используя это положение, создается технологическая пара “заготовка-инструмент”, при помощи которой осуществляется

чистовая обработка по методу обкатки. Наружная поверхность такого инструмента описывается по линии – линии контакта с поверхностью накатываемого или притираемого зуба. Таким образом создается новая сопряженная кинематическая пара.

В процессе притирки зубообрабатывающий инструмент вращается и приводит в принудительное движение обрабатываемое зубчатое колесо. В результате скольжения сопряженных поверхностей зубьев заготовки и инструмента происходит выглаживание поверхности зуба с одновременным удалением частиц материала обрабатываемой заготовки. Такой процесс обработки в значительной степени улучшает чистоту поверхности зуба, повышает точность по окружному шагу и направлению зуба. Полученные таким образом цилиндрические зубчатые колеса применяются в зубчатых передачах, имеющих большие окружные скорости. Интенсивность процесса притирки зависит от угла скрещивания осей инструмента и обрабатываемого зубчатого колеса. С увеличением этого угла увеличивается величина скорости скольжения, влияющая на производительность обработки.

С целью получения линейного контакта между сопрягаемыми зубьями зубчатого притира и обрабатываемого цилиндрического зубчатого колеса, следует зубчатый притир изготавливать в пространственном станочном зацеплении, согласно схемы формообразования третьего класса. С целью получения линейного контакта между зубом инструмента и притираемого зубчатого колеса передаточное отношение должно быть не менее восьми. Подача обрабатываемого цилиндрического зубчатого колеса направлена вдоль прямолинейной образующей притира, профиль которого должен иметь криволинейную форму. Такое положение приводит к линейному контакту между поверхностью обрабатываемого зуба и

поверхностью зуба инструмента при любом количестве их зубьев.

Многозаходные притиры изготавливаются в пространственном станочном зацеплении путем радиального врезания вдоль их образующей. Уравнения, описывающие профиль зуба исследуемого зубчатого притира описаны при

помощи четырех уравнений. Первые три уравнения представляют собой семейство точек зацепления на поверхности зуба зубчатого притира, четвертое уравнение представляет уравнение связи зубьев инструмента и заготовки или так называемое уравнение непрерывности станочного зацепления:

$$\begin{aligned}x_2 &= (x_1 - r)(\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \gamma \sin \varphi_1 \sin \varphi_2) + y_1(-\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \gamma \cos \varphi_1 \sin \varphi_2) + \\&+ z_1 \sin \gamma \sin \varphi_2 + A \cos \varphi_2; \\y_2 &= (x_1 - r)(\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \cos \gamma \sin \varphi_1 \cos \varphi_2) + y_1(-\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 - \cos \gamma \cos \varphi_1 \cos \varphi_2) - \\&- z_1 \sin \gamma \cos \varphi_2 + A \sin \varphi_2; \\z_2 &= (x_1 - r) \sin \gamma \sin \varphi_1 + y_1 \sin \gamma \cos \varphi_1 - z_1 \cos \gamma; \\f_1(v, \varphi_1, \psi) &= (u_{21} \cos \gamma - 1)[y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r)] + z_1 u_{21} \sin \gamma (y_1' \cos \varphi_1 + \\&+ x_1' \sin \varphi_1) - A u_{21} \cos \gamma (y_1' \sin \varphi_1 - x_1' \cos \varphi_1) = 0.\end{aligned}\quad (1)$$

Относительная скорость скольжения является главным движением формообразования при притирке зубьев цилиндрических зубчатых колес при помощи многозаходных зубчатых притиров. Относительная скорость скольжения точки

контактирующих зубьев $\vec{V}^{(12)}$ в процессе притирки зубьев может быть определена по следующей зависимости:

$$\vec{V}^{(12)} = \vec{V}^{(1)} - \vec{V}^{(2)} = (\vec{\omega}_1^{(1)} - \vec{\omega}_1^{(2)}) \times \vec{r} - m_1(\vec{\omega}^{(2)}) = \vec{\omega}_1^{(12)} \times \vec{r} - \vec{A} \times \vec{\omega}_1^{(2)} \quad (2)$$

Относительное движение притираемого зубчатого колеса можно разложить по трем взаимно перпендикулярным направлениям, тогда относительная скорость скольжения принимает следующий вид:

$$\begin{aligned}V_x^{(12)} &= ((r - x_1) \sin \varphi_1 + y_1 \cos \varphi_1)(1 - u_{21} \cos \gamma) + [A u_{21} \cos \gamma (y_1 \sin \varphi_1 - x_1 \cos \varphi_1) - \\&- (1 - u_{21} \cos \gamma)(y_1 y_1' - x_1(r - x_1))]/(y_1 \cos \varphi_1 + x_1 \sin \varphi_1); \\V_y^{(12)} &= ((x_1 - r) \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1)(1 - u_{21} \cos \gamma) - A u_{21} \cos \gamma; \\V_z^{(12)} &= -((x_1 - r) \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1 + A) u_{21} \sin \gamma.\end{aligned}\quad (3)$$

Поскольку в процессе притирки относительная скорость скольжения является главным формообразующим движением, то необходимо знать ее величину. Для этого определим модуль скорости скольжения по поверхности контактирующих зубьев в следующем виде:

$$\begin{aligned}[V^{(12)}]^2 &= -(1 - u_{21} \cos \gamma)(y_1 y_1' + \\&+ x_1'(x_1 - r))/y_1' \cos \varphi_1 + x_1' \sin \varphi_1 + \\&+ [(x_1 - r) \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1](1 - \\&- u_{21} \cos \gamma) - A u_{21} \cos \gamma - [(x_1 - \\&- r) \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1 + A] u_{21} \sin \gamma.\end{aligned}\quad (4)$$

Качество притертой поверхности зуба цилиндрического зубчатого колеса зависит от угла между вектором относительной скорости скольжения и направлением линий контакта на поверхности обработанного зуба. Чем меньше этот угол, тем выше качество притертой поверхности, с увеличением этого угла процесс притирки ухудшается. Угол между вектором скорости скольжения и направлением линий контакта определен в следующем виде:

$$\begin{aligned}tg \nu_\tau &= \left\{ -\frac{\partial F}{\partial \psi} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \cdot \vec{V}^{(12)} \right) \left[(x_1')^2 + (y_1')^2 \right] - \frac{\partial F}{\partial v} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \cdot \vec{V}^{(12)} \right) \right\} / \\&/ \left[\frac{\partial F}{\partial v} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \cdot \vec{V}^{(12)} \right) - \frac{\partial F}{\partial \psi} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \cdot \vec{V}^{(12)} \right) \right] \sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}.\end{aligned}\quad (5)$$

Приведенные выше геометрические и кинематические показатели процесса притирки влияют на качество обработанной поверхности и

производительность процесса притирки. Необходимо заметить, что скольжение на поверхности зуба притира и поверхности

притираемого зуба не одинаково. От этого скольжения в значительной степени зависит износ инструмента. С целью определения величины износа зубьев инструмента и заготовки найдены

коэффициенты удельных скольжений на зубьях обрабатываемого зубчатого колеса и инструмента. Удельные скольжения определены в следующем виде:

$$\eta_1 = \left\{ -\left(\vec{V}^{(12)} \cdot \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) (x_1')^2 + (y_1')^2 \right\} \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left(\vec{V}^{(12)} \cdot \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \right) \frac{\partial F}{\partial v} \Big/ \frac{\partial F}{\partial \phi_1} [(x_1')^2 + (y_1')^2],$$

$$\eta_2 = 1 - \left\{ \frac{\partial F}{\partial \phi_1} [(x_1')^2 + (y_1')^2] \right\} \Big/ \left\{ \frac{\partial F}{\partial \phi_1} [(x_1')^2 + (y_1')^2] - \left(\vec{V}^{(12)} \cdot \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) (x_1')^2 + (y_1')^2 \right\} \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left(\vec{V}^{(12)} \cdot \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \right) \frac{\partial F}{\partial v}. \quad (6)$$

При притирке зубьев цилиндрических зубчатых колес от длины линий контакта инструмента и заготовки зависит производительность процесса обработки. В данном исследовании длина контактной линии определена в следующем виде:

$$(ds)^2 = \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \cdot \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) dv^2 + 2 \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \cdot \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) dv d\psi + \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \cdot \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) d\psi^2 \quad (7)$$

Суммарная скорость перемещения контактирующих поверхностей притираемых зубьев определяется как сумма скоростей на зубе зубчатого притира и зубе притираемого зубчатого колеса. Величина суммарной скорости перемещения контактирующих поверхностей найдена в следующем виде:

$$\vec{U} = \vec{V}^{(1)} + \vec{V}^{(2)} = \frac{\partial F}{\partial \phi_1} [\vec{q} \times \vec{n}_1] |\vec{N}| \Big/ \left[\left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \cdot \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \cdot \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial v} \right] +$$

$$+ \frac{\partial F}{\partial \phi_1} [\vec{q} \times \vec{n}_1] |\vec{N}| \Big/ \left[\left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \cdot \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \cdot \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial v} \right] + \vec{V}^{(12)} =$$

$$= 2 \frac{\partial F}{\partial \phi_1} [\vec{q} \times \vec{n}_1] |\vec{N}| \Big/ \left[\left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial v} \cdot \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \cdot \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial v} \right] + \vec{V}^{(12)}. \quad (8)$$

Притирка зубьев цилиндрических зубчатых колес производится при скрещенных осях заготовки и инструмента. Наибольшего эффекта при притирке можно достичь в случае, когда притир является огибающей обрабатываемого зубчатого колеса. Проанализировав геометрические и кинематические показатели процесса притирки зубьев, удалось спроектировать и изготовить десятизаходный притир, представленный на рис. 1.



Рис. 1. Десятизаходный инструмент.

При помощи разработанного притира велась обработка цилиндрических зубчатых колес с $m_n = 1,5$ мм числом зубьев $z_1 = 100$. Обработка

производилась за один проход инструмента и заготовки. Для обработки противоположной стороны зуба использовалось реверсивное движение. Чистота поверхности обработанного зуба составляет 0,63 - 0,32 мкм.

В результате выполненных исследований удалось спроектировать принципиально новый инструмент для чистовой обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес. Благодаря анализу геометрических и кинематических параметров процесса притирки зубьев удалось еще на стадии проектирования создать работоспособный инструмент.

Л и т е р а т у р а

1. Гавриленко В.А. зубчатые передачи в машиностроении. М.: Машгиз, 1962.-531 с.
2. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
3. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений /Ф.Л.Литвин.– М.: Наука, 1968, 584 с.
4. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов / П.Р.Родин. – К.: Вища школа, 1990. – 424 с.
5. Сахаров Г.Н., Арбузов О.Б., Боровой Ю.Л., Кисилев А.С. Металлорежущие инструменты. - М.: Машиностроение, 1989. - 328 с.
6. Цвис Ю.В. Профилирование режущего обкатного

инструмента / Ю.В. Цвис – М.: Машгиз, 1961. – 155 с.

Melnikova E.P., Pokintelitsa N.I.

FINISHING MACHINING OF CYLINDRICAL GEAR WHEELS TEETH

The work investigates the process of cylindrical gear wheels teeth finishing machining using laps obtained according to the third class shape formation scheme. Major geometric and kinematic parameters of teeth machining using offered instrument have been provided. The possibility to forecast the machined teeth quality even at the stage of instrument design has been obtained.

Key words: lap, gear wheel, geometry, kinematics, sliding speed, contact line.

Мельникова Елена Павловна, д.т.н., профессор, заведующая кафедрой менеджмент организаций, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования. «Донецкий национальный технический университет», Автомобильно-дорожный институт г. Горловка.

E-mail: melnikova_adi@mail.ru

Melnikova Elena Pavlovna, Doctor of science (Engineering), professor, Head of management of organizations department, State Educational Establishment of

Higher Professional Education “Donezk National Technical University”, Automobile and Road Institute, city of Gorlovka.

Покинтелица Николай Иванович, д.т.н., профессор. Заведующий кафедрой «Пищевые технологии и оборудование». Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

E-mail: nik.pokintelitsa@mail.ru

Pokintelitsa Nikolai Ivanovich, Doctor of science (Engineering), Head of “Food processing technologies and equipment”. Federal State Autonomous Educational Establishment of Higher Education “Sevastopol State University”. of Ministry of Education and Science of Russian Federation.

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновационной деятельности, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 04.05.2023

УДК 621.311(47+57)+621.311.42.017(477.61)

**АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ВЫЗВАННЫХ ХОЛОСТЫМ ХОДОМ В СИЛОВЫХ
ТРАНСФОРМАТОРАХ С СОЧЕТАНИЕМ НАПРЯЖЕНИЙ 10(6)/0,4кВ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ
РЕСПУБЛИКИ, МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ
ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЕЕ ЧЕРЕЗ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
СЕТИ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ И
ПЕРЕВОДА ИХ НА КЛАССЫ НАПРЯЖЕНИЯ:
10; 15; 20; 27,5 И 35 КВ**

Парсентьев О. С.

**ANALYSIS OF THE POWER INDUSTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION,
REFINED CALCULATION OF ACTIVE ELECTRICITY LOSSES CAUSED BY IDLE
OPERATION IN POWER TRANSFORMERS WITH A COMBINATION OF
VOLTAGES 10(6)/0,4KV OF DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS OF THE
LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC, MINIMIZATION OF ELECTRIC LOSSES
ENERGY DURING TRANSPORTATION THROUGH THE DISTRIBUTION
ELECTRIC NETWORKS OF THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC BY
MODERNIZATION AND TRANSFER TO CLASSES VOLTAGES:
10; 15; 20; 27,5 AND 35 KV**

Parsentev O. S.

В работе проводится анализ электроэнергетической отрасли Российской Федерации и сравнительные показатели энергоёмкости валового внутреннего продукта (ВВП) с учетом паритета покупательной способности стран БРИКС и ряда стран с развитой рыночной экономикой.

Установлено, что электроэнергетическая отрасль России характеризуется все еще низкой энергоэффективностью, так как в ней эксплуатируется морально устаревшее электротехническое оборудование, количество которого превышает 40%, а коэффициент полезного действия не превышает значения 35-38%.

Уровень годовых потерь электроэнергии превышает нормируемое значение. Рассмотрены нормативно-правовые акты государства, направленные на повышение энергоэффективности, энергосбережение и минимизацию технологических потерь при транспортировке электроэнергии потребителям Российской Федерации.

Используя паспортные данные, массогабаритные показатели и значение магнитной индукции в стержнях силовых трансформаторов (СТ) с сочетанием напряжений 10(6)/0,4кВ распределительных электрических сетей напряжением 10(6) кВ (РЭС-10(6)кВ) Луганской Народной Республики, произведен расчет активных годовых потерь электроэнергии, выделяемых на покрытие потерь холостого хода

трансформаторов, гистерезис, вихревые токи и от протекания тока намагничивания в обмотках.

Для минимизации вышеуказанных годовых потерь электроэнергии в СТ РЭС-10(6)кВ при транспортировке электроэнергии потребителям Луганской Народной Республики в работе рассмотрен вопрос модернизации существующих электросетей на классы напряжения: 10; 15; 20; 27,5 и 35кВ. По результатам расчета установлено, что наименьший уровень годовых потерь активной электроэнергии будет выделяться при классах напряжения 10 и 15кВ.

Ключевые слова: *валовой внутренний продукт, энергоэффективность, энергосбережение, силовой трехфазный трансформатор, холостой ход, гистерезис, вихревые токи, намагничивающий ток, годовые потери активной электроэнергии, магнитопровод, модернизация, класс напряжения.*

Введение. Активная политика о энергосбережении и повышении энергоэффективности в Российской Федерации вызвана высоким уровнем энергоёмкости ВВП страны. Несмотря на то, что за период 2000 – 2014

гг., энергоёмкость ВВП возросла в 1,4 раза, сегодня ее уровень в 2,2 раза выше от среднемирового [1].

На диаграмме (рис.1) приводятся сравнительные показатели энергоёмкости ВВП с учетом паритета покупательской способности (ПКС) стран БРИКС (Бразилия, Россия, Индия, Китай, Южно-Африканская Республика) и ряда стран с развитой рыночной экономикой.

Из диаграммы следует, что среди развитых стран мира Россия имеет все еще высокие показатели энергоёмкости ВВП, в том числе с учетом ПКС. В промышленности России затраты на топливо и энергию составляют от 10 до 40% себестоимости продукции в зависимости от отраслевой принадлежности. В совокупном объеме промышленные предприятия потребляют свыше трети первичных топливно-энергетических ресурсов и свыше 50% электроэнергии.

В металлургической и химической отраслях эксплуатируются 15% полностью изношенных основных фондов, а в производстве строительных материалов используется малоэффективные технологии [2].

Электроэнергетическая отрасль России характеризуется низкой энергоэффективностью, причиной чего есть старение основного оборудования электрических станций и сетей, в которых часть устарелого оборудования превышает 40%. Большинство тепловых электростанций в России сегодня имеют КПД 35-38%. В среднем топливная эффективность угольных электростанций на 8%, а газовых – на 6% ниже, чем в странах ЕС. Потери электроэнергии на собственные нужды энергоблоков на разных АЭС составляет от 4,5 % до 8,5% от общего объема генерации.

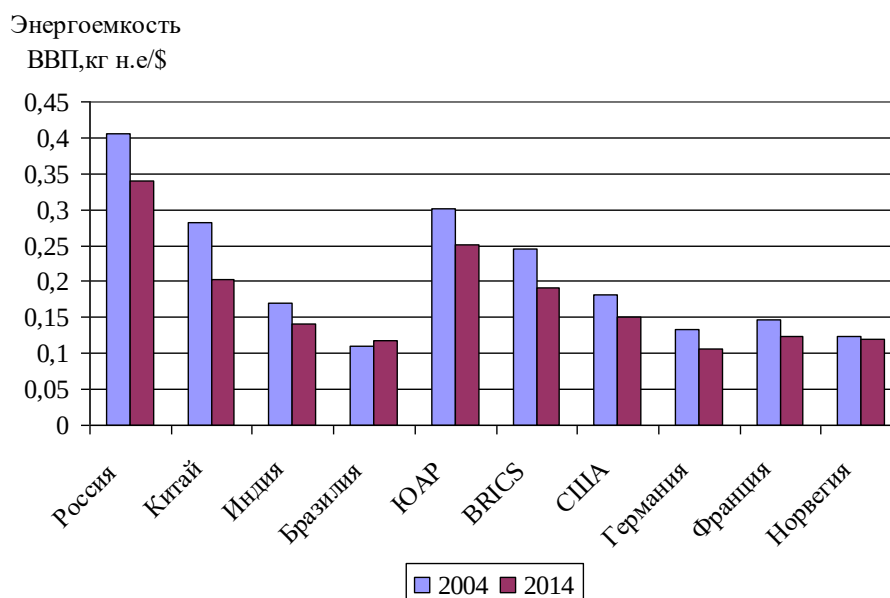


Рис.1. Энергоёмкость ВВП развивающихся стран

Коэффициент использования установленной мощности энергоблоков в объединенной энергетической системе (ОЭС) страны является значительно низким, чем в передовых зарубежных странах. Время простоя генерируемых мощностей практически в два раза превышает среднее по ОЭС. Во время зимнего максимума нагрузки в стране простаивают около 12% мощностей, в ОЭС – только 7%.

Потери электроэнергии в электрических сетях Российской Федерации в 2014 году составили 11,4%. Потери тепла в центральных теплосетях России составляют 20%, а в отдельных регионах страны – значительно выше.

Решение проблемы энергосбережения и повышения энергоэффективности является одной из восьми приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в России, определенных Указом Президента России от 07.07.2011 года №899

«Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации».

Основные усилия государственной власти направлены на повышение энергоэффективности экономики страны и в первую очередь на совершенствование законодательства и нормативно-правовой базы.

В 2009 году было принят Федеральный закон от 23.11.2009 года №261-ФЗ (ред. 13.07.2015 года) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», целью которого является создание правовых, экономических и организационных мероприятий по стимулированию энергосбережения и повышению энергетической эффективности для достижения указанной цели.

Законом предусмотрено, что государственную поддержку в отрасли энергосбережения и повышения энергетической эффективности необходимо осуществлять по направлениям: содействие в создании инвестиционной деятельности в отрасли энергосбережения и повышения энергетической эффективности; разработка и использование технологий, которые имеют высокую энергетическую эффективность; поддержки региональных, муниципальных программ в отрасли энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Таким образом, снижение активных потерь электроэнергии холостого хода в силовых трансформаторах распределительных и магистральных электрических сетей Луганской Народной Республики и Российской Федерации представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

В электроустановках, таких как генераторы, электродвигатели, система генератор-двигатель, силовые трансформаторы, в основу работы положено преобразование и распределение электромагнитной энергии. Для преобразования энергии применяются магнитные системы с малыми магнитными потерями и высокой индукцией насыщения. Этим требованиям наилучшим образом удовлетворяют электротехнические стали.

Легирование кремнием увеличивает удельное электрическое сопротивление, значение которого определяется по следующей приближенной эмпирической формуле [3]:

$$\rho = 1,0 \cdot 10^{-7} + 1,2\%Si \cdot 10^{-7}. \quad (1)$$

Электротехнические стали с низкими значениями удельного электрического сопротивления имеют ограниченное применение из-за повышенных величин вихревых токов. На величину и направление вихревых токов, кроме размеров магнитного сердечника, влияют его удельное электрическое сопротивление, частота питающей сети и магнитная проницаемость μ . Таким образом, вихревые токи, вызываемые перемагничиванием магнитных материалов, влияют на удельные электрические потери.

Потери, возникающие в трансформаторе в режиме холостого хода при номинальном синусоидальном напряжении на первичной обмотке и номинальной частоте, называются потерями холостого хода.

Потери холостого хода трансформатора $P_{х.х}$ состоят из магнитных потерь в активном материале (стали магнитной системы, потерь в стальных элементах конструкции остова трансформатора, вызванных частичным ответвлением основного магнитного потока), электрических потерь в первичной обмотке,

вызванных током холостого хода, и диэлектрических потерь в изоляции.

Потери в элементах конструкции трансформатора при холостом ходе относительно невелики и учитываются вместе с другими добавочными потерями.

Магнитные потери – потери в активной стали магнитной системы – составляют основную часть потерь холостого хода и могут быть разделены на статические потери – потери на гистерезис и динамические потери – потери энергии в магнитопроводе из-за вихревых токов. Для современной холоднокатаной электротехнической стали с толщиной листа 0,30 и 0,35 мм статические потери составляют до 25-35 и динамические потери 75-65% полных потерь.

При расчете активных потерь в плоской шихтованной магнитной системе, собранной из пластин холоднокатаной текстурованной анизотропной стали, необходимо учитывать массу стали отдельных участков системы, индукцию на каждом из этих участков системы, качество стали, толщину пластин, свойства самой стали и ряд других конструктивных и технологических факторов. К конструктивным факторам следует отнести: форму стыков пластин в углах магнитной системы, форму поперечного сечения ярма, способ прессовки стержней и ярм. Из технологических факторов наибольшее влияние на потери в магнитной системе оказывают: резка рулонов стали на пластины, удаление заусенцев, образующихся при резке, отжиг пластин, покрытие их лаком, прессовка магнитной системы при сборке и перешихтовка верхнего ярма при установке обмоток [4].

Удельные потери в 1 кг стали при частоте 50 Гц и индукции от 0,2 до 2,0 Тл для современных марок холоднокатаной анизотропной стали представлены в ГОСТ 21427–83 для случая, когда направление вектора магнитной индукции поля совпадает с направлением прокатки стали.

Удельные, а также общие потери в стали изменяются с изменением индукции B и частоты f .

Однако современные формулы для расчета потерь в стали дают определенные погрешности.

Попытка произвести расчет удельных потерь на вихревые токи в ферромагнитном материале была предпринята в 1926 году Б.А. Введенским [5]. Он предложил следующую формулу:

$$P_B = \frac{\pi d^2 \cdot B_0^2 \cdot \omega}{3q}, \quad (2)$$

где B_0 – магнитная индукция, Тл;

ω – циклическая частота, рад/с;

q – магнитная проводимость, Гн.

Однако формула (2) приближенно определяет потери на вихревые токи. Ошибки заключаются в том, что магнитную проводимость необходимо было

ввести в числитель. В числитель необходимо было ввести значение циклической частоты во второй степени ω^2 , а в знаменателе следовало бы учесть значение плотности материала.

Интерес к определению удельных потерь в ферромагнитных материалах появился в связи с возможностью широкого их применения при создании горячекатаной электротехнической стали для электрических машин.

После того, как в 1935 году Косс [6] обнаружил высокие магнитные свойства у холоднокатаной электротехнической стали вдоль направления прокатки, интерес к изучению удельных потерь повысился.

Первое приближенное уравнение для расчета полных потерь в проводящем ферромагнетике в 1937 году дали Элвуд и Легг [7]:

$$P_{\text{полн.}} = \frac{B_0^3 \cdot b}{4\mu^3} + \frac{\pi \cdot d^2 \cdot B_0 \cdot \omega}{3q} + cB_0^2, \quad (3)$$

где b – постоянная для данного сплава величина;

μ – магнитная проницаемость сплава Гн/м

c – не зависящая от магнитной индукции и циклической частоты величина.

Экспериментальная проверка формулы (3) показала, что в ней не учтены значения коэрцитивной силы и плотности сплава, введенные параметры B_0^3 и μ^3 искажают результаты расчета, также не учитывается дислокационная теория магнитных материалов.

Точный расчет в стали сложен, поэтому его зачастую производят либо на основе усреднения мгновенных значений напряжения на периоде основной частоты, либо основываясь на упрощенном инженерном подходе определения потерь в стали, не предполагающим разделения потерь в стали на вихревые токи и гистерезис, разработанном для синусоидального напряжения промышленной частоты.

Таким образом, мощность активных потерь, рассеиваемую вихревыми токами при определенных допущениях (однородный материал, однородное магнитное поле, отсутствие скин-эффекта и т.д.), можно рассчитать, используя следующую формулу [Вт]:

$$P_{\text{ВТ}} = \frac{\pi^2 B_p^2 d^2 f^2 m}{6k\gamma_{\text{см}}\rho_{\text{см}}}, \quad (4)$$

где B_p – значение магнитной индукции в стержнях СТ, Тл.

Значение магнитной индукции определяется по [4, табл. 2.4], учитывая номинальную мощность СТ.

d – толщина листа электротехнической стали, мм.

Для изготовления магнитопроводов СТ общепромышленного применения используются следующие марки специальных трансформаторных сталей: 3404 толщиной $d = 0,30$ и $0,35$ мм; 3405 толщиной $d = 0,30$ мм и сталь 3406 толщиной $d = 0,27$ мм.

f – частота питающей сети, Гц. $f = 50$ Гц;

γ – удельное сопротивление трансформаторной стали. $\gamma = 0,50$ мкОм·м;

$\rho_{\text{см}}$ – плотность трансформаторной стали, кг/м³.

Принимаемые в расчетах стали марок 3404, 3405 и 3406 являются холоднокатаными, поэтому $\rho_{\text{см}} = 7650$ кг/м³;

m – масса магнитопровода СТ, кг;

k – коэффициент, учитывающий форму материала. Для тонколистовых сталей $k = 1$.

Активная мощность, затрачиваемая на покрытие потерь от перемагничивания стали в СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ РЭС-10(6) кВ энергосетевой компании, определяется по следующей формуле [Вт]:

$$P_{\text{ГИСТ.}} = \frac{\pi^2 B_p^2 d^2 f m}{6k\gamma_{\text{см}}\rho_{\text{см}}}, \quad (5)$$

В статье будет проводиться расчет активных годовых потерь электроэнергии холостого хода в СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ распределительных электрических сетей 6 – 10 кВ Луганской Народной Республики при условии, что магнитопроводы этих СТ изготовлены из холоднокатаных электротехнических сталей одной из следующих марок:

- 3404 с толщиной пластины $d = 0,30$ и $0,35$ мм;
- 3405 с толщиной пластины $d = 0,30$ мм;
- 3406 с толщиной пластины $d = 0,27$ мм.

При расчетах будут использованы технические параметры силовых двухобмоточных масляных трансформаторов (СТ) с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ, находящиеся в трансформаторных подстанциях (ТП) и распределительных пунктах (РП) РЭС-6-10 кВ Луганской Народной Республики по состоянию на 01.01.2007 года.

Существующий централизованный парк СТ РЭС Луганской Народной Республики Российской Федерации состоит из трансформаторов с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ [8]. Число и номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ, эксплуатируемых в РЭС, представлены в табл. 1.

Распределение массы магнитопроводов от номинальной мощности силовых трансформаторов с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ представлено на рис. 2 следующей зависимостью $M_{\text{маг}} = f(S_{\text{ном}})$.

Таблица 1

**Существующий централизованный парк СТ РЭС Луганской Народной Республики
напряжений 10(6)/0,4 кВ по состоянию на 01.01.2007 года [8]**

Сном, кВА	Всего СТ с сочетанием напряжений 6/0,4 кВ шт	Суммарная номинальная мощность, $\sum S_{ном}$, кВА СТ с сочетанием напряжений 6/0,4 кВ	Всего СТ с сочетанием напряжений 10/0,4 кВ шт	Суммарная номинальная мощность, $\sum S_{ном}$, кВА СТ с сочетанием напряжений 10/0,4 кВ
10	15	150	57	570
12,5	4	50	1	12,5
20	0	0	1	20
25	54	1350	108	2700
40	43	1720	196	7840
50	7	350	68	3400
63	161	10143	741	46683
75	9	675	3	225
100	686	68600	1426	142600
125	3	375	-	-
160	741	118560	1380	220800
180	526	94680	136	24480
200	182	36400	77	15400
250	1050	262500	1179	294750
315	177	55755	90	28350
320	280	89600	70	22400
400	1163	465200	706	282400
560	74	41440	21	11760
630	497	313110	308	194040
750	1	750	2	1500
800	1	800	1	800
1000	56	56000	32	32000
1600	-	-	2	3200
2500	-	-	6	15000
3200	-	-	1	3200
	5730	1618208,00	6612	1354130,50

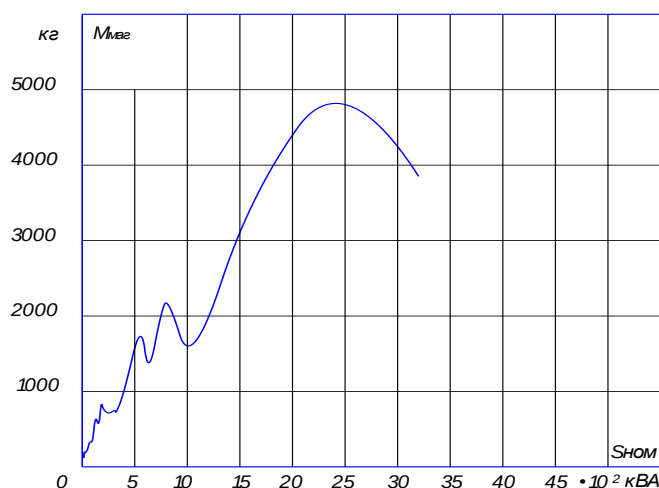


Рис. 2. График зависимости $M_{маг} = f(S_{ном})$ для СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ энергокомпаний Луганской Народной Республики

Анализ рис.2 позволяет сделать заключение о том, что наибольшей массой магнитной системы обладают СТ номинальной мощностью: 12,5;20;50;75; 125; 180;200; 560; 750; 800; 1600; 2500 и 3200 кВА.

Уточненное значение годовых потерь активной электроэнергии на гистерезис, вихревые токи и от

протекания тока намагничивания в первичной обмотке силовых трансформаторов с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ энергосетевой компании Луганской Народной Республики предлагается определить, используя номинальную мощность группы силовых трансформаторов указанного класса напряжений, потери холостого хода и массу

трансформаторов по паспорту, толщину холоднокатаной электротехнической стали 3404, 3405, 3406 и ее физические свойства, рабочее значение магнитной индукции в стержнях магнитопровода СТ по [4, табл.2.4].

Также проводится анализ нижеследующих планируемых пяти вариантов по минимизации технологических потерь электроэнергии в РЭС Луганской Народной Республики, в основу которого положены модернизация и перевод этих электросетей на классы напряжения 10;15; 20; 27,5 и 35 кВ с заменой существующих силовых трансформаторов мощностью 12,5;20;50;75; 125; 180;200; 560; 750; 800; 1600; 2500 и 3200 кВА на ряд СТ с сочетанием напряжений (10; 15;20; 27,5 и 35/0,4 кВ) по ГОСТ 9680-77.

По результатам этого анализа будет выбран рациональный вариант с минимальными потерями электроэнергии холостого хода для дальнейшей транспортировки электроэнергии через СТ и РЭС потребителям Луганской Народной Республики.

При расчете сделаем допущение о том, что:

- магнитопроводы существующих СТ в РЭС-10(6) кВ могут быть выполнены из электротехнической стали 3404 с толщиной пластины $d = 0,30$ и $0,35$ мм, и стали 3405 с толщиной пластины $d = 0,30$ мм;

- при модернизации существующих РЭС – 10 (6) кВ Луганской Народной Республики магнитопроводы современных СТ с сочетанием напряжений (10;15;20;27,5 и 35)/0,4кВ выполнены из холоднокатаной электротехнической стали марки 3406 толщиной $d=0,27$ мм;

- частота питающей сети и магнитная проницаемость трансформаторных сталей в режиме холостого хода постоянная;

- трансформатор имеет стержневую магнитную систему с вертикальными осями стержней, на каждом стержне концентрически расположены две круглые равновысокие равномерные обмотки; все законы подобия трансформаторов применимы в случае замкнутых магнитных систем других видов и иной формы обмоток;

- отсутствует вытеснение магнитного поля вихревыми токами;

- напряжение в РЭС 6-10 кВ энергокомпаний Луганской Народной Республики изменяется синусоидально;

- принимаемая в расчетах масса СТ с сочетанием напряжений(6; 10; 15; 20; 27,5 и35)/0,4 кВ без массы бака и трансформаторного масла по паспорту равна массе магнитной системы трансформатора.

При расчете не учитываются потери электроэнергии, выделяемые:

- в изоляции обмоток СТ (диэлектрические);

- в СТ, балансодержателями которых не являются энергосетевые компании;

- в коммутационно-защитных аппаратах, контрольно-измерительном оборудовании и ошиновке, связанных с образованием переходного сопротивления;

- от действия электромагнитных переходных процессов, возникающих в результате коммутации в электрических сетях, действия токов одно-, двух-, трехфазного и межвиткового короткого замыкания, бросков токов намагничивания при включении СТ в работу;

- в стали и обмотках СТ, от несинусоидальности магнитной индукции, вызванных колебанием подводимого напряжения;

- второстепенные уточнения несущественны.

Годовые потери активной электроэнергии, выделяющиеся в группе СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ РЭС-10(6) кВ энергокомпаний Луганской Народной Республики на вихревые токи и перемагничивание, определяются по таким формулам [ГВт·ч]:

$$\sum W_{BT}^{zod} = \frac{31536 \cdot P_{BT}}{10^6}; \quad (6)$$

$$\sum W_{ГИСТ}^{zod} = \frac{31536 \cdot P_{ГИСТ}}{10^6}. \quad (7)$$

Годовые потери электроэнергии от протекания тока намагничивания по обмоткам СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ определяются по формуле [ГВт·ч]:

$$\sum W_{\mu}^{zod} = \sum W_{XX}^{zod} - \sum W_{BT}^{zod} - \sum W_{ГИСТ}^{zod}, \quad (8)$$

где $\sum W_{XX}^{zod}$ – годовые, паспортные потери электроэнергии, затрачиваемые на холостой ход в группе СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ, ГВт·ч.

Графики распределения годовых потерь активной электроэнергии на гистерезис, вихревые токи, от протекающего намагничивающего тока в первичной обмотке и суммарных потерь холостого хода в зависимости от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ энергокомпаний Луганской Народной Республики, магнитные системы которых выполнены из электротехнических сталей марки 3404 толщиной $d=0,30$ мм и $d=0,35$ мм, марки 3405 толщиной $d=0,30$ мм, и марки 3406 толщиной $d=0,27$ мм

$$\sum W_{zod.xx}(10(6)/0,4кВ); \quad \sum W_{zod.BT}(10(6)/0,4кВ);$$

$$\sum W_{zod.ГИСТ}(10(6)/0,4кВ); \quad \sum W_{zod.НАМ.ТОК}(10(6)/0,4кВ) = f(S_{ном}),$$

построены и представлены на рис. 3-5.

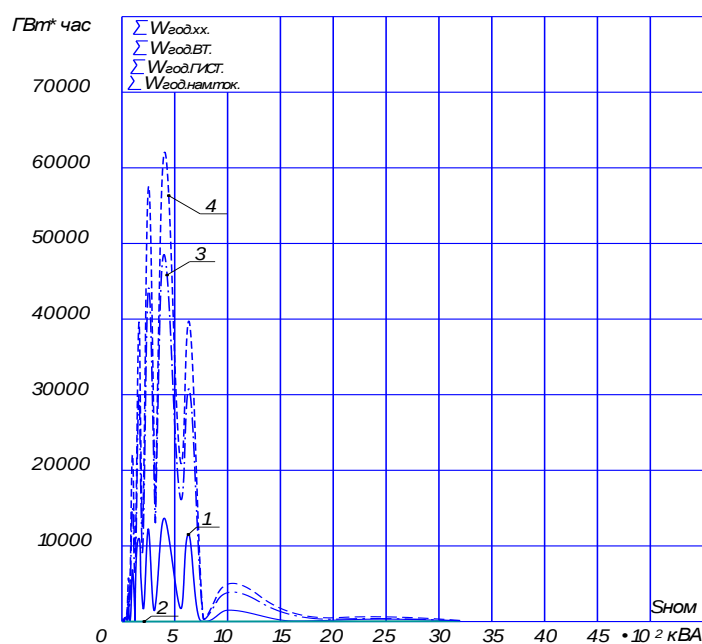


Рис. 3. Зависимости распределения суммарных годовых потерь активной электроэнергии от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ энергокомпаний Луганской Народной Республики, построенные для случая, когда магнитная система этих СТ выполнена из электротехнической стали марки 3404 толщиной d=0,30мм:

- 1 – на вихревые токи: $\sum W_{BT}^{zod} = f(S_{ном СТ10(6)/0.4кВ})$;
- 2 – на гистерезис: $\sum W_{ГИСТ}^{zod} = f(S_{ном СТ10(6)/0.4кВ})$;
- 3 – от протекания намагничивающего тока в обмотках: $\sum W_{\mu}^{zod} = f(S_{ном СТ10(6)/0.4кВ})$;
- 4 – холостого хода $\sum W_{XX}^{zod} = f(S_{ном СТ10(6)/0.4кВ})$

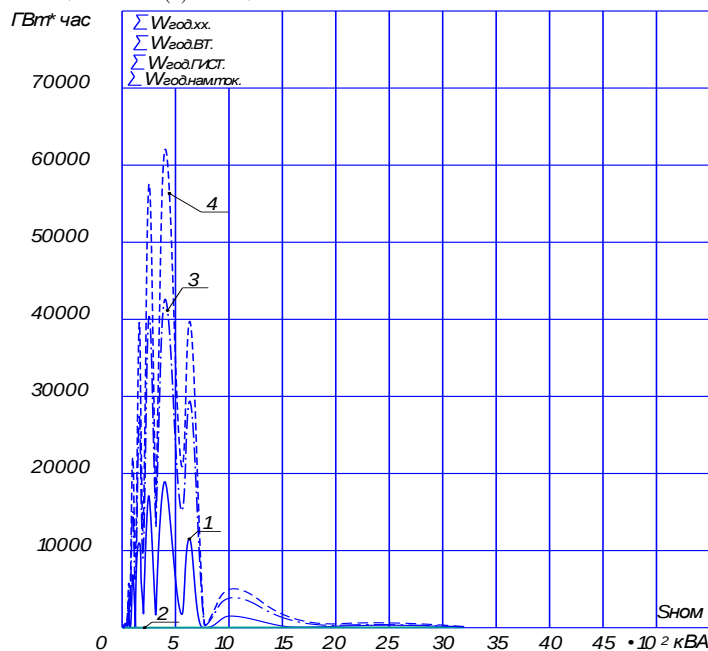


Рис.4. Зависимости распределения суммарных годовых потерь активной электроэнергии от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ энергокомпаний Луганской Народной Республики, построенные для случая, когда магнитная система этих СТ выполнена из электротехнической стали марки 3404 толщиной d=0,35 мм:

- 1– на вихревые токи: $\sum W_{BT}^{zod} = f(S_{ном СТ10(6)/0.4кВ})$; 2– на гистерезис: $\sum W_{ГИСТ}^{zod} = f(S_{ном СТ10(6)/0.4кВ})$;
- 3 – от протекания намагничивающего тока в обмотках: $\sum W_{\mu}^{zod} = f(S_{ном СТ10(6)/0.4кВ})$;
- 4 –холостого хода $\sum W_{XX}^{zod} = f(S_{ном СТ10(6)/0.4кВ})$

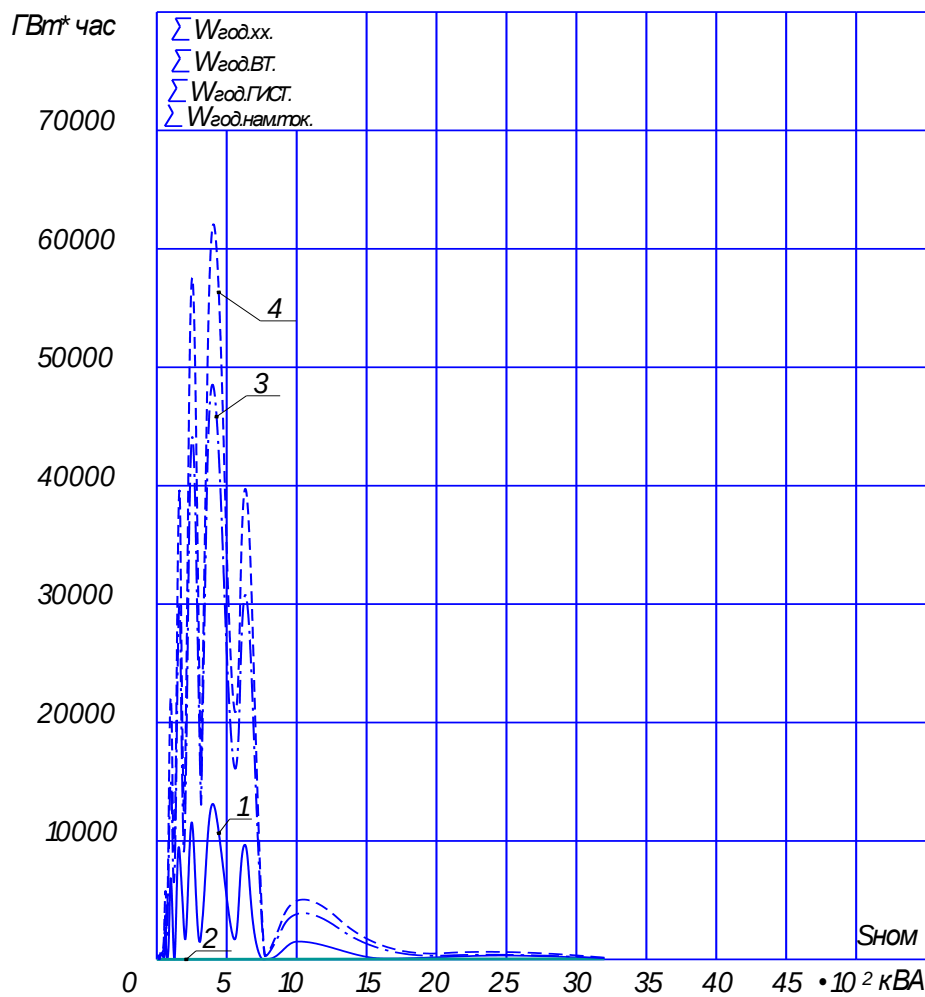


Рис. 5. Зависимости суммарных годовых потерь активной электроэнергии от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ энергокомпаний Луганской Народной Республики, построенные для случая, когда магнитная система этих СТ выполнена из стали марки 3405 толщиной $d=0,30$ мм:

- 1– на вихревые токи: $\sum W_{BT}^{zod} = f(S_{ном СТ 10(6)/0,4кВ})$;
- 2– на гистерезис: $\sum W_{ГИСТ}^{zod} = f(S_{ном СТ 10(6)/0,4кВ})$;
- 3 – от протекания намагничивающего тока в обмотках: $\sum W_{\mu}^{zod} = f(S_{ном СТ 10(6)/0,4кВ})$;
- 4 – холостого хода $\sum W_{XX}^{zod} = f(S_{ном СТ 10(6)/0,4кВ})$

Анализ представленных зависимостей на рис. 3-5 позволяет сделать заключение о том, что наибольшие годовые потери активной электроэнергии на гистерезис, вихревые токи и от протекания тока намагничивания в обмотках выделяются в СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ номинальной мощностью: 12,5; 20; 50; 75; 125; 180; 200; 560; 750; 800; 1600; 2500 и 3200 кВА.

Наибольшие годовые потери активной электроэнергии на вихревые токи выделяются в стали СТ, магнитопроводы которых выполнены из стали марки 3404 толщиной 0,35 мм.

Результаты вариантов по минимизации технологических потерь электроэнергии в

существующих РЭС-10(6) кВ при транспортировке ее потребителям Луганской Народной Республики.

Вариант 1. Модернизация РЭС на класс напряжения 10 кВ

При модернизации и переводе существующих РЭС Луганской Народной Республики Российской Федерации на класс напряжения 10 кВ количество и суммарная номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 10/0,4 кВ будут такими, как представлено в табл. 2.

Таблица 2

Число и номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 10/0,4 кВ после модернизации
РЭС Луганской Народной Республики на класс напряжения 10 кВ

Номинальная мощность СТ после реконструкции S ном, кВА	Всего СТ, штук	Суммарная номинальная мощность СТ после модернизации, $\sum S_{ном}$, кВА
10	72	720
16	5	80
25	163	4075
40	239	9560
63	977	61551
100	2124	212400
160	2124	339840
250	3150	787500
400	2486	994400
630	900	567000
1000	93	93000
1600	2	3200
2500	6	15000
4000	1	4000
Всего:	12342	3092326

График зависимости массы магнитопроводов от номинальной мощности силовых трансформаторов с сочетанием напряжений 10/0,4 кВ $M_{маг} = f(S_{ном10кВ})$ будет таким, как показано на рис.6.

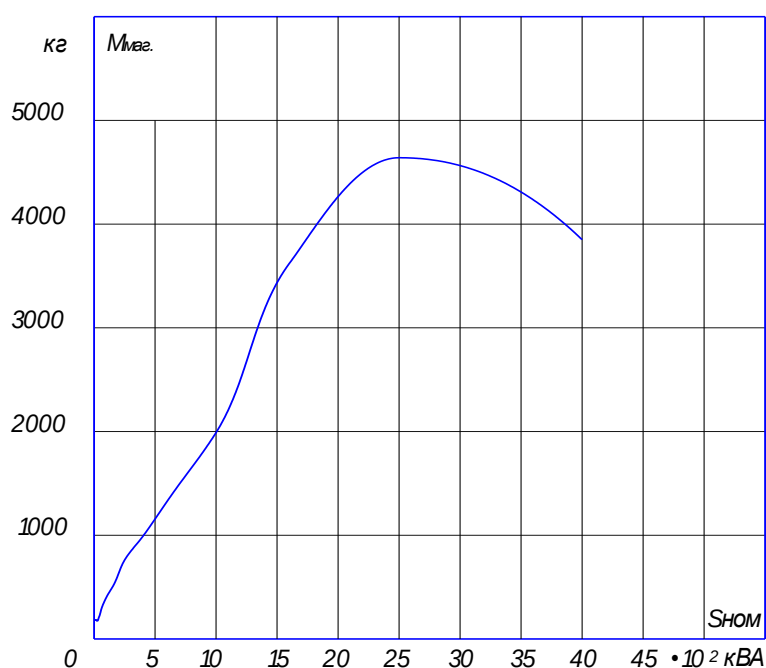


Рис. 6. График зависимости $M_{маг} = f(S_{ном10кВ})$ для СТ с сочетанием напряжений 10/0,4 кВ энергокомпаний Луганской Народной Республики

Анализ рис.6 позволяет сделать заключение о том, что наибольшую массу магнитопровода имеет группа СТ с сочетанием напряжений 10/0,4 кВ номинальной мощностью 2500 и 4000 кВА.

На рис. 7 представлены зависимости распределения суммарных годовых потерь активной электроэнергии на гистерезис $\sum W_{ГИСТ}^{zod}$, вихревые токи $\sum W_{ВТ}^{zod}$, от протекания тока намагничивания

по обмоткам $\sum W_{\mu}^{zod}$ и суммарные годовые потери энергии холостого хода $\sum W_{ХХ}^{zod}$ от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 10/0,4 кВ после модернизации существующей РЭС Луганской Народной Республики на класс напряжения 10 кВ с учетом того, что магнитопроводы этих СТ выполнены из стали марки 3406 толщиной 0,27 мм.

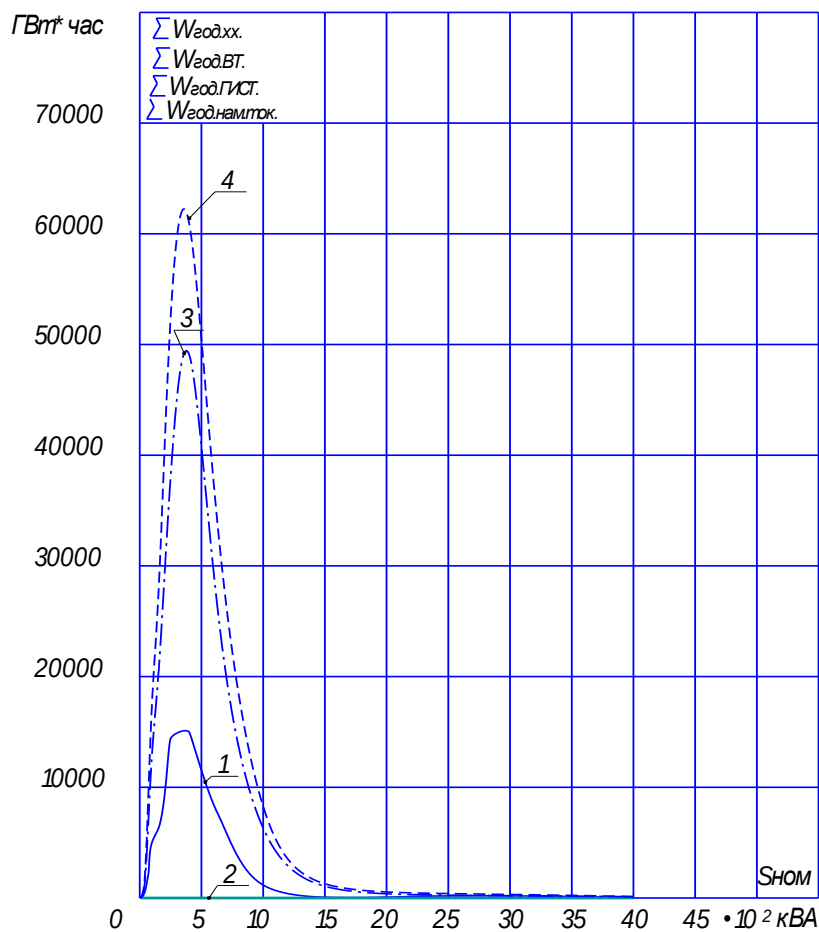


Рис. 7. Зависимости распределения суммарных годовых потерь активной электроэнергии от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 10/0,4 кВ после модернизации и перевода РЭС на класс напряжения 10 кВ:

- 1 – на вихревые токи: $\sum W_{BT}^{zod} = f(S_{ном СТ 10/0,4 кВ})$;
- 2 – на гистерезис: $\sum W_{ГИСТ}^{zod} = f(S_{ном СТ 10/0,4 кВ})$;
- 3 – от протекания намагничивающего тока в обмотках: $\sum W_{\mu}^{zod} = f(S_{ном СТ 10/0,4 кВ})$;
- 4 – холостого хода $\sum W_{XX}^{zod} = f(S_{ном СТ 10/0,4 кВ})$

Анализ зависимостей представленных на рис.7 позволяет сделать заключение о том, что при модернизации и переводе РЭС на класс напряжения 10 кВ годовые потери активной электроэнергии в СТ с сочетанием напряжений 10/0,4 кВ снизятся:

1. На гистерезис – в 1,620 раза;
2. На вихревые токи – в 1,620 раза;
3. От протекания основного тока намагничивания – в 1,43 раза;

4. Суммарные холостого хода – в 1,48 раза, в сравнении с аналогичными потерями электроэнергии, возникаемыми в существующих СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ Луганской Народной Республики, магнитопроводы которых выполнены из холоднокатаной электротехнической стали марки 3404 толщиной $d=0,35$ мм.

Наибольший уровень годовых активных потерь электроэнергии, выделяемых в стали и обмотках от

протекания тока намагничивания находится в СТ с сочетанием напряжений 10/0,4 кВ номинальной мощностью 250, 400 и 630 кВА.

Вариант 2. Модернизация РЭС на класс напряжения 15 кВ

При модернизации и переводе существующих РЭС Луганской Народной Республики Российской Федерации на класс напряжения 15 кВ следует учесть [9-14], что существующие заводы-изготовители на территории Российской Федерации не выпускают СТ с сочетанием напряжений 15/0,4 кВ номинальной мощностью 10 и 16 кВА. В итоге распределение количества и суммарной номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 15/0,4 кВ в РЭС будет таким, как представлено в табл. 3.

Таблица 3

**Число и номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 15/0,4 кВ после модернизации
РЭС Луганской Народной Республики Российской Федерации на класс напряжения 15 кВ**

Номинальная мощность СТ после реконструкции S ном, кВА	Всего СТ, штук	Суммарная номинальная мощность СТ после модернизации, $\sum S_{ном}$, кВА
25	240	6000
40	239	9560
63	977	61551
100	2124	212400
160	2124	339840
250	3150	787500
400	2486	994400
630	900	567000
1000	93	93000
1600	2	3200
2500	7	17500
Всего:	12342	3091951

График зависимости массы магнитопроводов от номинальной мощности силовых трансформаторов с сочетанием напряжений 15/0,4 кВ $M_{mag} = f(S_{ном15кВ})$ будет таким, как показано на рис.8.

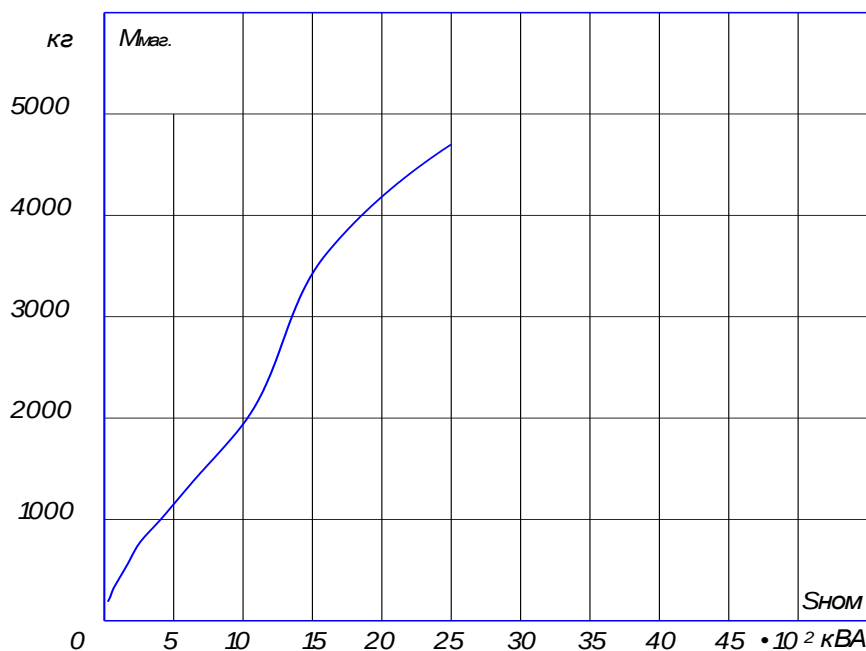


Рис. 8. График зависимости $M_{mag} = f(S_{ном15кВ})$ для СТ с сочетанием напряжений 15/0,4 кВ энергокомпаний Луганской Народной Республики

Анализ рис. 8 позволяет сделать заключение о том, что наибольшая масса магнитопровода приходится на группу СТ с сочетанием напряжений 15/0,4 кВ номинальной мощностью 2500 кВА.

На рис. 9 представлены зависимости распределения суммарных годовых потерь активной электроэнергии на гистерезис $\sum W_{ГИСТ}^{год}$, вихревые токи $\sum W_{ВТ}^{год}$, от протекания тока намагничивания

по обмоткам $\sum W_{\mu}^{год}$ и суммарных годовых потерь электроэнергии холостого хода $\sum W_{ХХ}^{год}$ от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 15/0,4 кВ после модернизации существующей РЭС Луганской Народной Республики на класс напряжения 15 кВ и с учетом того, что магнитопроводы этих СТ выполнены из стали марки 3406 толщиной 0,27мм.

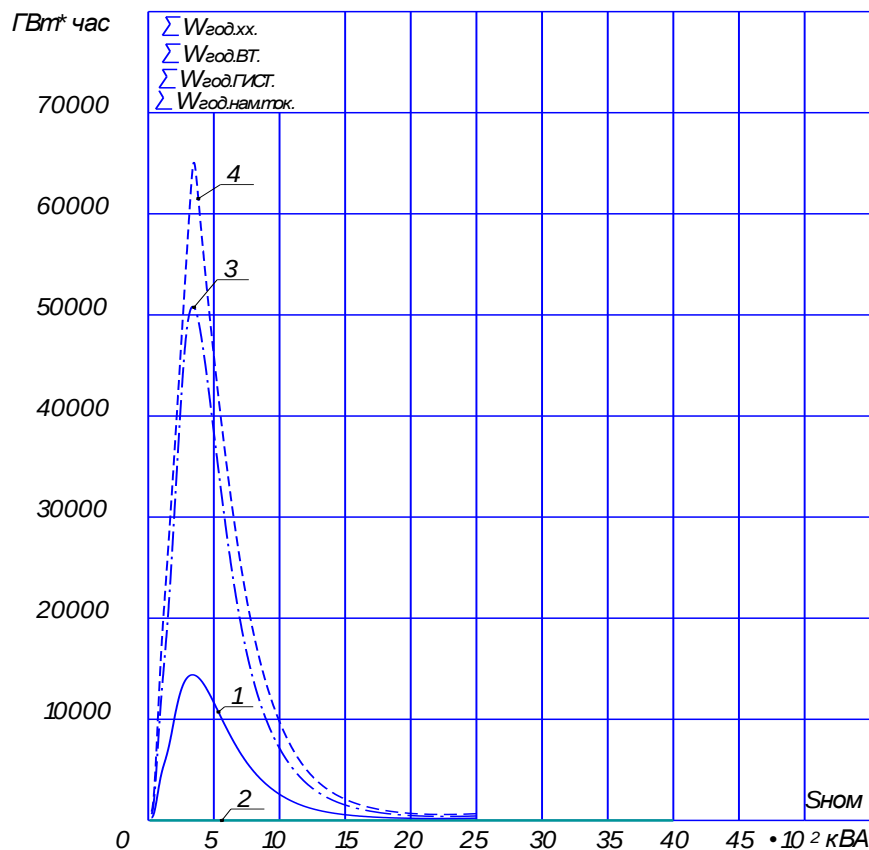


Рис.9. Зависимости распределения суммарных годовых потерь активной электроэнергии от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 15/0,4 кВ после модернизации и перевода РЭС на класс напряжения 15 кВ:

- 1– на вихревые токи: $\sum W_{\text{ВТ}}^{\text{год}} = f(S_{\text{НОМ СТ 15/0,4 кВ}})$;
- 2– на гистерезис: $\sum W_{\text{ГИСТ}}^{\text{год}} = f(S_{\text{НОМ СТ 15/0,4 кВ}})$;
- 3 – от протекания намагничивающего тока в обмотках: $\sum W_{\mu}^{\text{год}} = f(S_{\text{НОМ СТ 15/0,4 кВ}})$;
- 4 –холостого хода $\sum W_{\text{ХХ}}^{\text{год}} = f(S_{\text{НОМ СТ 15/0,4 кВ}})$

Анализ зависимостей, представленных на рис. 9, позволяет сделать заключение о том, что при модернизации и переводе РЭС на класс напряжения 15 кВ годовые потери активной электроэнергии в СТ с сочетанием напряжений 15/0,4 кВ снизятся:

1. На гистерезис – в 1,62 раза;
2. На вихревые токи – в 1,62 раза;
3. От протекания основного тока намагничивания – в 1,38 раза;
4. Суммарные холостого хода – в 1,440 раза, в сравнении с аналогичным уровнем годовых потерь электроэнергии, возникаемых в существующих СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ Луганской Народной Республики, магнитопроводы которых выполнены из холоднокатаной электротехнической стали марки 3404 толщиной $d=0,35\text{мм}$.

Наибольший уровень годовых потерь активной электроэнергии, выделяемых в стали и обмотках от

протекания тока намагничивания, находится в СТ с сочетанием напряжений 15/0,4 кВ номинальной мощностью 250, 400 и 630 кВА.

Вариант 3. Модернизация РЭС на класс напряжения 27,5 кВ

При модернизации существующих РЭС Луганской Народной Республики Российской Федерации на класс напряжения 27,5 кВ следует учесть, что существующие заводы-изготовители на территории Российской Федерации не выпускают СТ с сочетанием напряжений 27,5/0,4 кВ номинальной мощностью 10, 16 и 40 кВА. В итоге распределение количества и суммарной номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 27,5/0,4 кВ в РЭС будет таким, как представлено в табл.4.

Таблица 4

**Число и номинальная мощность СТ сочетанием напряжений 27,5/0,4 кВ после модернизации
РЭС Луганской Народной Республики Российской Федерации на класс напряжения 27,5 кВ**

Номинальная мощность СТ после реконструкции S ном, кВА	Всего СТ, штук	Суммарная номинальная мощность СТ после модернизации, $\sum S_{ном}$, кВА
25	240	6000
63	1216	76608
100	2124	212400
160	2124	339840
250	3150	787500
400	2486	994400
630	900	567000
1000	93	93000
1600	2	3200
2500	6	15000
4000	1	4000
Всего:	12342	3098948

График зависимости массы магнитопроводов от номинальной мощности силовых трансформаторов с сочетанием напряжений 27,5/0,4 кВ $M_{маг} = f(S_{ном27,5кВ})$ будет таким, как показано на рис. 10.

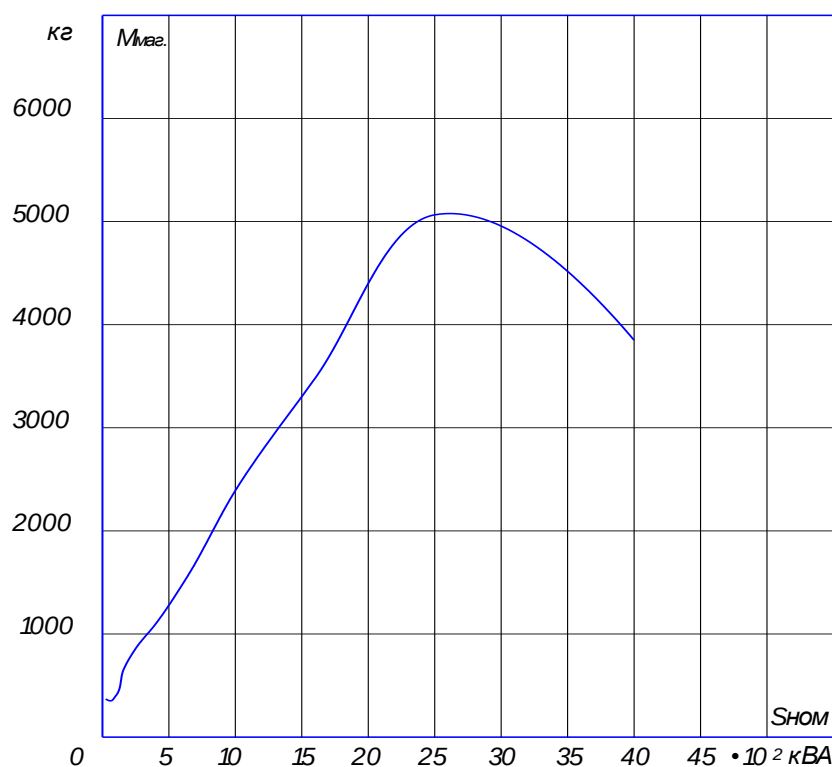


Рис. 10. График зависимости $M_{маг} = f(S_{ном27,5кВ})$ для СТ с сочетанием напряжений 27,5/0,4 кВ энергокомпаний Луганской Народной Республики

Анализ рис.10 позволяет сделать заключение о том, что наибольшая масса магнитопровода приходится на группу СТ с сочетанием напряжений 27,5/0,4 кВ номинальной мощностью 2500 кВА.

На рис.11 представлены зависимости распределения суммарных годовых потерь активной электроэнергии на гистерезис $\sum W_{ГИСТ}^{zod}$, вихревые токи $\sum W_{ВТ}^{zod}$, от протекания тока намагничивания

по обмоткам $\sum W_{\mu}^{zod}$ и суммарные годовые потери электроэнергии холостого хода $\sum W_{ХХ}^{zod}$ от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 27,5/0,4 кВ после модернизации существующей РЭС Луганской Народной Республики на класс напряжения 27,5 кВ с учетом того, что магнитопроводы этих СТ выполнены из стали марки 3406 толщиной 0,27 мм.

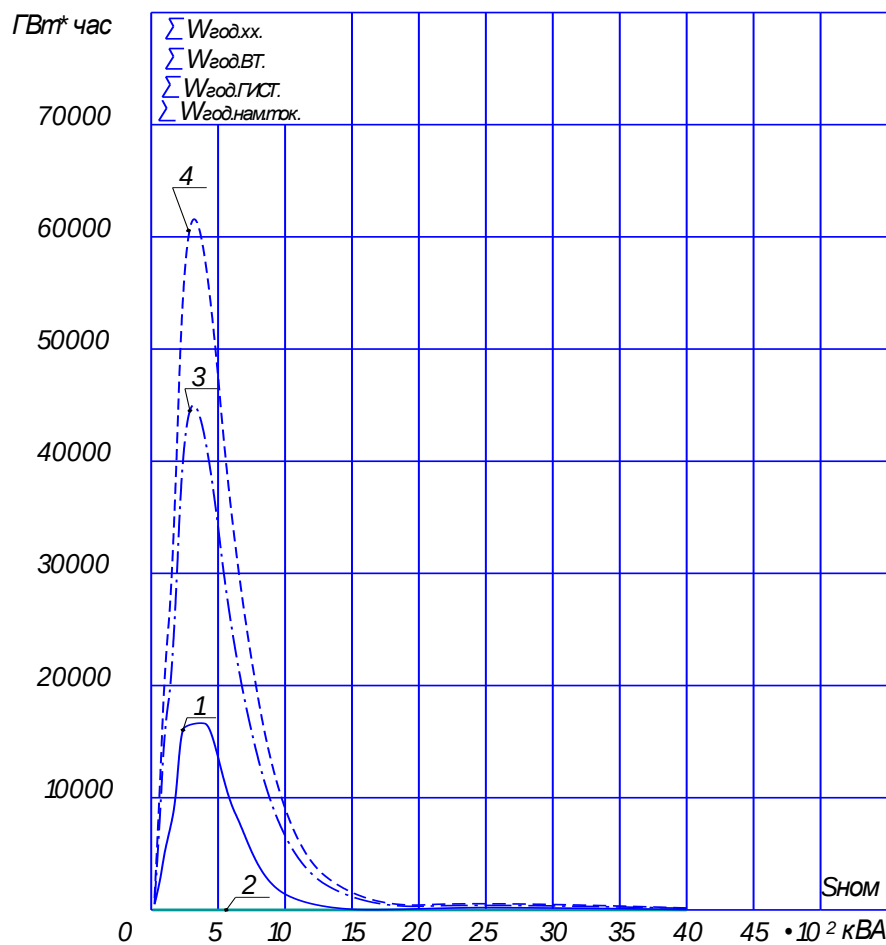


Рис. 11. Зависимости распределения суммарных годовых потерь активной электроэнергии от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 27,5/0,4 кВ после модернизации и перевода РЭС на класс напряжения 27,5 кВ:

1– на вихревые токи: $\sum W_{\text{ВТ}}^{\text{год}} = f(S_{\text{ном СТ 27,5/0,4 кВ}})$;

2– на гистерезис: $\sum W_{\text{ГИСТ}}^{\text{год}} = f(S_{\text{ном СТ 27,5/0,4 кВ}})$;

3 – от протекания намагничивающего тока в обмотках: $\sum W_{\mu}^{\text{год}} = f(S_{\text{ном СТ 27,5/0,4 кВ}})$;

4 – холостого хода $\sum W_{\text{ХХ}}^{\text{год}} = f(S_{\text{ном СТ 27,5/0,4 кВ}})$

Анализ зависимостей, представленных на рис.11, позволяет сделать заключение о том, что при модернизации и переводе РЭС на класс напряжения 27,5 кВ годовые потери активной электроэнергии в СТ с сочетанием напряжений 27,5/0,4 кВ снизятся:

1. На гистерезис: – в 1,42 раза;
2. На вихревые токи – в 1,42 раза;
3. От протекания основного тока намагничивания – в 1,35 раза;

4. Суммарные холостого хода – в 1,37 раза, в сравнении с аналогичным уровнем годовых потерь электроэнергии, возникаемых в существующих СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ Луганской Народной Республики, магнитопроводы которых выполнены из холоднокатаной электротехнической стали марки 3404 толщиной $d=0,35\text{ мм}$.

Наибольший уровень годовых потерь активной электроэнергии, выделяемых в стали и обмотках от

протекания тока намагничивания, находится в СТ с сочетанием напряжений 27,5/0,4 кВ номинальной мощностью 250, 400 и 630 кВА.

Вариант 4. Модернизация РЭС на класс напряжения 20 кВ

При модернизации существующих РЭС Луганской Народной Республики Российской Федерации на класс напряжения 20 кВ следует учесть, что существующие заводы-изготовители на территории Российской Федерации не выпускают СТ с сочетанием напряжений 20/0,4 кВ номинальной мощностью 10, 16, 25 и 40 кВА. В итоге распределение количества и суммарной номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 20/0,4 кВ в РЭС будет таким, как представлено в табл. 5.

Таблица 5

Число и номинальная мощность СТ с сочетанием напряжений 20/0,4 кВ после модернизации РЭС Луганской Народной Республики Российской Федерации на класс напряжения 20 кВ

Номинальная мощность СТ после реконструкции S ном, кВА	Всего СТ, штук	Суммарная номинальная мощность СТ после модернизации, $\sum S_{ном}$, кВА
63	1456	91728
100	2124	212400
160	2124	339840
250	3150	787500
400	2486	994400
630	900	567000
1000	93	93000
1600	2	3200
2500	6	15000
4000	1	4000
Всего:	12342	3108068

График зависимости массы магнитопроводов от номинальной мощности силовых трансформаторов с сочетанием напряжений 20/0,4 кВ $M_{маг} = f(S_{ном20кВ})$ будет таким, как показано на рис. 12.

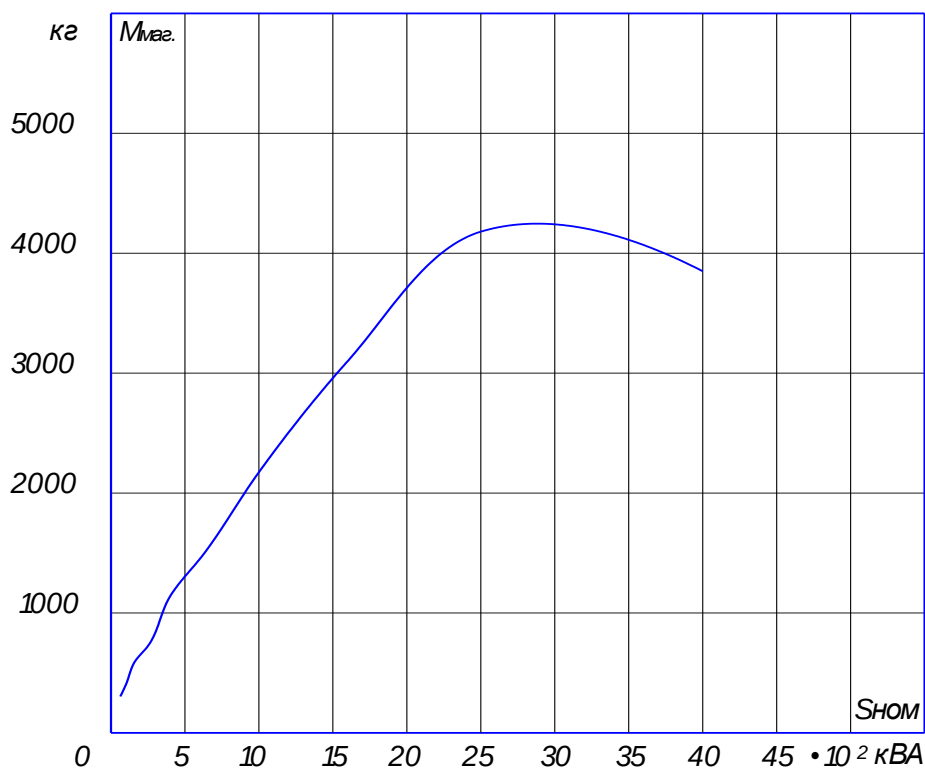


Рис. 12. График зависимости $M_{маг} = f(S_{ном20кВ})$ для СТ с сочетанием напряжений 20/0,4 кВ энергокомпаний Луганской Народной Республики

Анализ рис. 12 позволяет сделать заключение о том, что наибольшая масса магнитопровода приходится на группу СТ с сочетанием напряжений 20/0,4 кВ номинальной мощностью 2500 и 4000 кВА.

На рис.13 представлены зависимости распределения суммарных годовых потерь активной энергии на гистерезис $\sum W_{ГИСТ}^{zod}$, вихревые токи $\sum W_{BT}^{zod}$, от протекания тока намагничивания по

обмоткам $\sum W_{\mu}^{zod}$ и суммарные годовые потери электроэнергии холостого хода $\sum W_{XX}^{zod}$ от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 20/0,4 кВ после модернизации существующей РЭС Луганской Народной Республики на класс напряжения 20 кВ с учетом того, что магнитопроводы этих СТ выполнены из стали марки 3406 толщиной 0,27 мм.

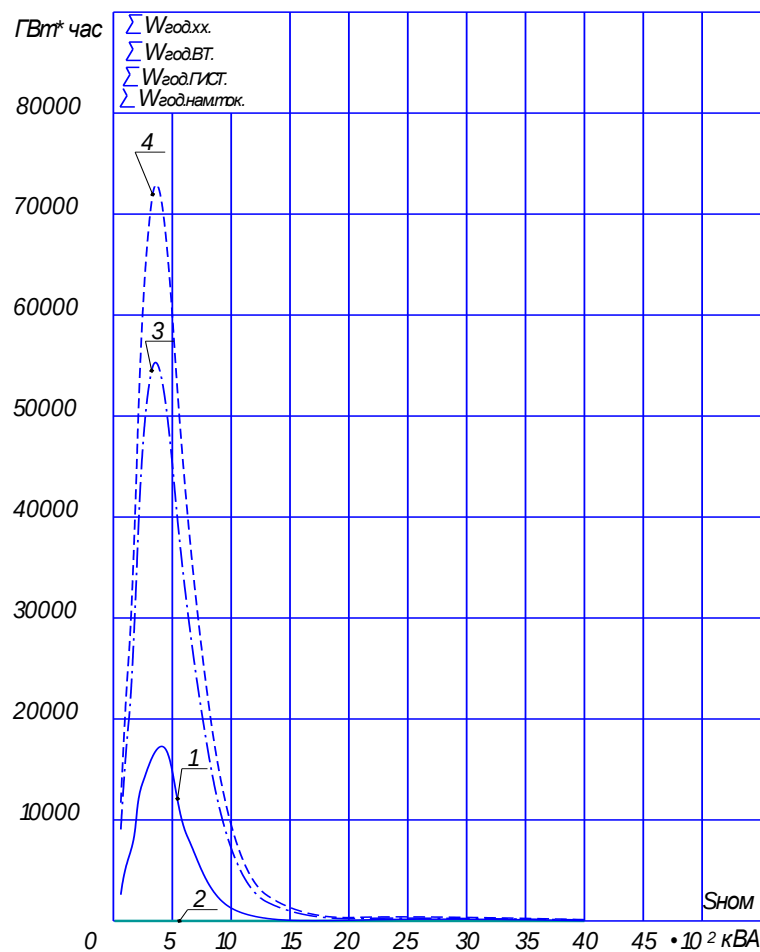


Рис. 13. Зависимости распределения суммарных годовых потерь активной электроэнергии от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 20/0,4 кВ после модернизации и перевода РЭС на класс напряжения 20 кВ:

- 1 – на вихревые токи: $\sum W_{BT}^{zod} = f(S_{ном СТ 20/0,4кВ})$;
 2 – на гистерезис: $\sum W_{ГИСТ}^{zod} = f(S_{ном СТ 20/0,4кВ})$;
 3 – от протекания намагничивающего тока в обмотках: $\sum W_{\mu}^{zod} = f(S_{ном СТ 20/0,4кВ})$;
 4 – холостого хода $\sum W_{XX}^{zod} = f(S_{ном СТ 20/0,4кВ})$

Анализ зависимостей, представленных на рис.13, позволяет сделать заключение о том, что при модернизации и переводе РЭС на класс напряжения 20 кВ годовые потери активной электроэнергии в СТ с сочетанием напряжений 20/0,4 кВ снизятся:

1. На гистерезис – в 1,520 раза;
2. На вихревые токи – в 1,520 раза;
3. От протекания основного тока намагничивания – в 1,160 раза;

4. Суммарные холостого хода – в 1,24 раза, в сравнении с аналогичным уровнем годовых потерь электроэнергии, возникаемых в существующих СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ Луганской Народной Республики, магнитопроводы которых выполнены из холоднокатаной электротехнической стали марки 3404 толщиной $d=0,35\text{мм}$.

Наибольший уровень годовых потерь электроэнергии выделяемых в стали и обмотках от

протекания тока намагничивания находится также в СТ с сочетанием напряжений 20/0,4 кВ номинальной мощностью 250, 400 и 630 кВА.

Вариант 5. Модернизация РЭС на класс напряжения 35 кВ

При модернизации существующих РЭС Луганской Народной Республики на класс напряжения 35 кВ следует учесть, что существующие заводы-изготовители на территории Российской Федерации не выпускают СТ с сочетанием напряжений 35/0,4 кВ номинальной мощностью 10, 16 и 40 кВА.

В итоге распределение количества и суммарной номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/0,4 кВ в РЭС будет таким, как представлено в табл. 6.

Таблица 6

Число и номинальная мощность СТ сочетанием напряжений 35/0,4 кВ после модернизации РЭС Луганской Народной Республики Российской Федерации на класс напряжения 35 кВ

Номинальная мощность СТ после реконструкции $S_{ном}$, кВА	Всего СТ, штук	Суммарная номинальная мощность СТ после модернизации, $\sum S_{ном}$, кВА
25	240	6000
63	1216	76608
100	2124	212400
160	2124	339840
250	3150	787500
400	2486	994400
630	900	567000
1000	93	93000
1600	2	3200
2500	6	15000
4000	1	4000
Всего:	12342	3098948

График зависимости массы магнитопроводов от номинальной мощности силовых трансформаторов с сочетанием напряжений 35/0,4 кВ $M_{маг} = f(S_{ном35кВ})$ будет таким, как показано на рис. 14.

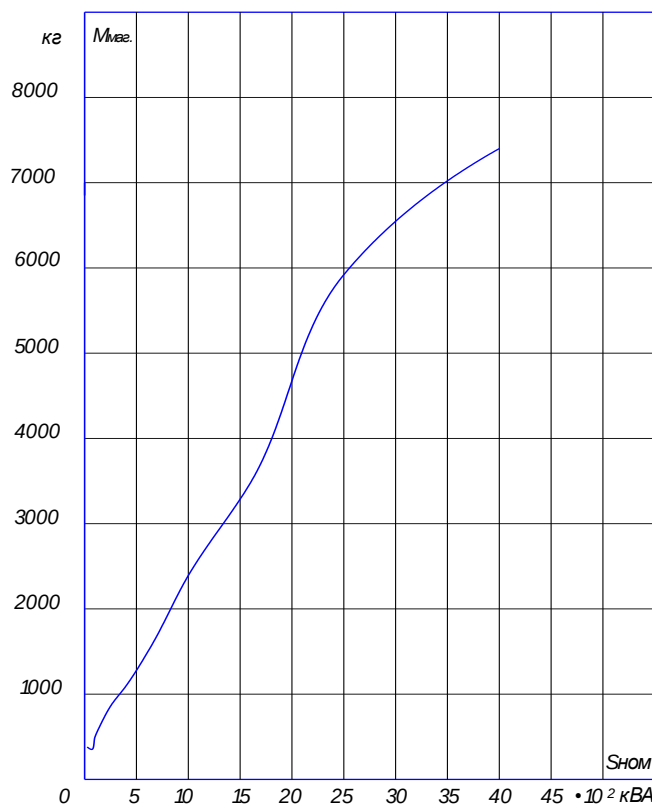


Рис. 14. График зависимости $M_{маг} = f(S_{ном35кВ})$ для СТ с сочетанием напряжений 35/0,4 кВ энергокомпаний Луганской Народной Республики

Анализ рис. 14 позволяет сделать заключение о том, что наибольшая масса магнитопровода приходится на группу СТ с сочетанием напряжений 35/0,4 кВ номинальной мощностью 4000 кВА.

На рис.15 представлены зависимости распределения суммарных годовых потерь активной энергии на гистерезис $\sum W_{ГИСТ}^{zod}$, вихревые токи $\sum W_{ВТ}^{zod}$, от протекания тока намагничивания по

обмоткам $\sum W_{\mu}^{zod}$ и суммарные годовые потери электроэнергии холостого хода $\sum W_{ХХ}^{zod}$ от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/0,4 кВ после модернизации существующей РЭС Луганской Народной Республики на класс напряжения 35 кВ с учетом того, что магнитопроводы этих СТ выполнены из стали марки 3406 толщиной 0,27 мм.

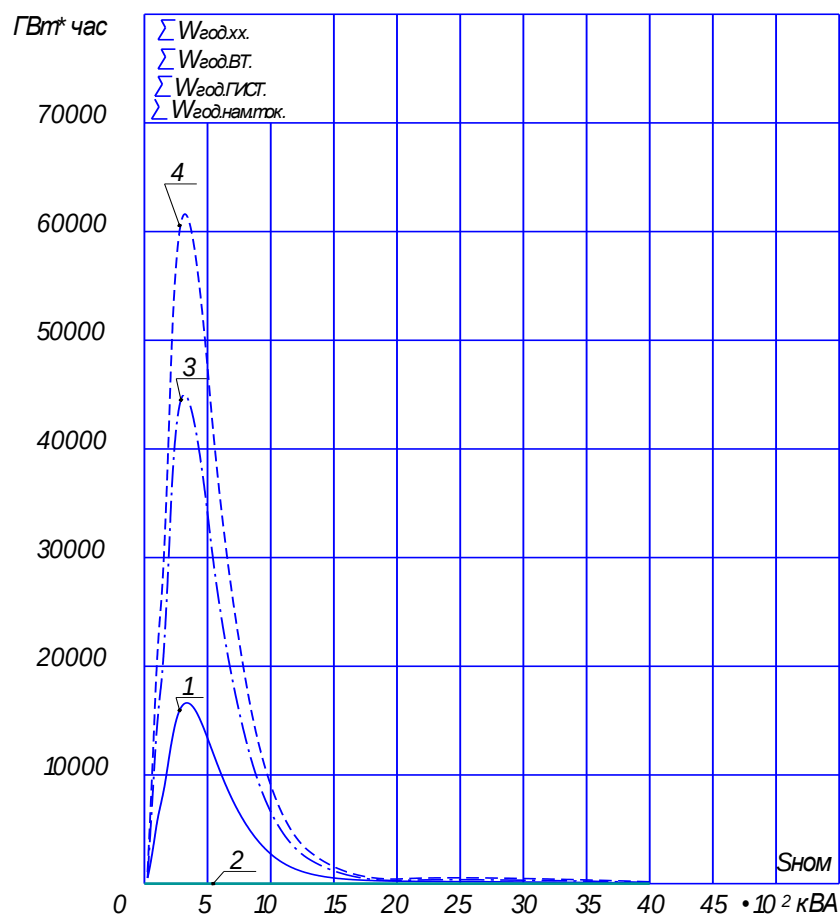


Рис. 15. Зависимости распределения суммарных годовых потерь активной электроэнергии от номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 35/0,4 кВ после модернизации и перевода РЭС на класс напряжения 35 кВ:

- 1 – на вихревые токи: $\sum W_{BT}^{zod} = f(S_{ном СТ 35/0,4кВ})$;
 2 – на гистерезис: $\sum W_{ГИСТ}^{zod} = f(S_{ном СТ 35/0,4кВ})$;
 3 – от протекания намагничивающего тока в обмотках: $\sum W_{\mu}^{zod} = f(S_{ном СТ 35/0,4кВ})$;
 4 – холостого хода $\sum W_{XX}^{zod} = f(S_{ном СТ 35/0,4кВ})$

Анализ зависимостей представленных на рис.15, позволяет сделать заключение о том, что при модернизации и переводе РЭС на класс напряжения 35 кВ годовые потери активной электроэнергии в СТ с сочетанием напряжений 35/0,4 кВ снизятся:

1. На гистерезис – в 1,40 раза;
2. На вихревые токи – в 1,40 раза;
3. От протекания основного тока намагничивания – в 1,360 раза;
4. Суммарные холостого хода – в 1,370 раза, в сравнении с аналогичным уровнем годовых потерь электроэнергии, возникаемых в существующих СТ с сочетанием напряжений 10(6)/0,4 кВ Луганской Народной Республики, магнитопроводы которых выполнены из холоднокатаной электротехнической стали марки 3404 толщиной $d=0,35\text{мм}$.

Наибольший уровень годовых потерь активной электроэнергии, выделяемых в стали и обмотках от протекания тока намагничивания, находится также в СТ с сочетанием напряжений 35/0,4 кВ номинальной мощностью 250, 400 и 630 кВА.

Таким образом, наименьшие годовые потери активной электроэнергии на гистерезис, вихревые токи и от протекания тока намагничивания в первичной обмотке будут выделяться в СТ с сочетанием напряжений 10/0,4кВ и 15/0,4 кВ.

Следовательно, целесообразна модернизация и переход существующих РЭС энергокомпаний Луганской Народной Республики и Российской Федерации на один из вышеуказанных классов напряжения – 10 или 15кВ.

Выводы: 1. Для минимизации годовых потерь активной электроэнергии от гистерезиса и вихревых токов в РЭС энергосетевых компаний Луганской Народной Республики и Российской Федерации следует устанавливать СТ с сочетанием напряжений 10/0,4 кВ или 15/0,4 кВ, магнитные системы которых выполнены из листов анизотропной холоднокатаной электротехнической стали толщиной, не превышающей $d \leq 0,27\text{мм}$.

2. Для минимизации годовых потерь активной электроэнергии от протекания тока намагничивания

по обмоткам СТ в РЭС энергосетевых компаний Луганской Народной Республики и Российской Федерации следует выполнять распределенную компенсацию реактивной мощности по обмоткам этих СТ.

3. Для классов напряжения 20, 27,5 и 35 кВ следует расширить диапазон мощностей у заводоизготовителей силовых трансформаторов на территории Российской Федерации [9-13] и стран СНГ путем создания трехфазных масляных СТ номинальной мощностью 10, 16, 25, 40 и 63 кВА промышленной частоты.

Л и т е р а т у р а

1. Международное энергетическое агентство (IEA) – <http://www.iea.org/> (дата обращения 02.06.2023 года).
2. www.ceerp.hw.ac.uk/ (дата обращения 02.06.2023 года).
3. Дружинин В.В. Магнитные свойства электротехнической стали/ В.В. Дружинин.– М.: Энергия, 1974. – 239 с.
4. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: учеб. пособие для вузов. 5-е изд., перераб. и доп.– М.: Энергоатомиздат, 1986. – 582 с.
5. Введенский Б.А. ЖРФХО, часть физ.58, 241 (1926).
6. Coss N.P. New development in electrical strip steels characterized by fine grain structure approaching the properties of a single crystal. – TASM, 1935, VI, v. 23, №2, p. 511 – 514.
7. Elwood W.B., Legg V.E., J. Appl. Phys. 8,351(1937).
8. www.guprsk.ru (дата обращения 12.01.2023 года).
9. www.abs-holdings.ru (дата обращения 02.06.2023 года).
10. www.birzst.nt-rt.ru (дата обращения 02.06.2023 года).
11. www.electroshield.ru (дата обращения 02.06.2023 года).
12. <http://metz.by/> (дата обращения 02.06.2023 года).
13. www.birzst.ru (дата обращения 02.06.2023 года).
14. www.uea.com.ua (дата обращения 02.06.2023 года).

Parsentev O. S.

ANALYSIS OF THE POWER INDUSTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION, REFINED CALCULATION OF ACTIVE ELECTRICITY LOSSES CAUSED BY IDLE OPERATION IN POWER TRANSFORMERS WITH A COMBINATION OF VOLTAGES 10(6)/0,4KV OF DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS OF THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC, MINIMIZATION OF ELECTRIC LOSSES ENERGY DURING TRANSPORTATION THROUGH THE DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS OF THE LUGANSK

PEOPLE'S REPUBLIC BY MODERNIZATION AND TRANSFER TO CLASSES VOLTAGES: 10; 15; 20; 27,5 AND 35 KV

The paper analyzes the electric power industry of the Russian Federation and compares the energy intensity of the gross domestic product, taking into account the purchasing power parity of the BRICS countries and a number of countries with developed market economies.

It has been established that the electric power industry in Russia is still characterized by low energy efficiency, since it uses obsolete electrical equipment, the amount of which exceeds 40%, and the efficiency does not exceed 35-38%.

The level of annual electricity losses exceeds the normalized value. The regulatory legal acts of the state aimed at improving energy efficiency, energy saving and minimizing technological losses during the transportation of electricity to consumers of the Russian Federation are considered.

Using passport data, weight and size indicators and the value of magnetic induction in the rods of power transformers (PTs) with a combination of voltages of 10 (6) / 0,4 kV of distribution electrical networks with a voltage of 10 (6) kV (DENs-10 (6) kV) of the Lugansk People's Republic, calculation of active annual power losses allocated to cover no-load losses of transformers, hysteresis, eddy currents and from the flow of magnetizing current in the windings.

To minimize the above annual losses of electricity in PTs DENs-10 (6) kV during the transportation of electricity to consumers of the Lugansk People's Republic, the paper considers the issue of upgrading existing electrical networks to voltage classes: 10; 15;20; 27,5 and 35kV. Based on the results of the calculation, it was found that the lowest level of annual losses of active electricity will be allocated for voltage classes of 10 and 15 kV.

Key words: gross domestic product, energy efficiency, energy saving, power three-phase transformer, no-load, hysteresis, eddy currents, magnetizing current, annual losses of active electricity, magnetic circuit, modernization, voltage class.

Парсентьев Олег Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика» ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: parsentev@mail.ru

Parsentev Oleg Sergeevich, docent, candidate of technical science of the Department of «Electrical Power Engineering», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновационной деятельности ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 13.06.2023

УДК 81'32

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТАКСИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРЕДЛОЖЕНИЙ**Ромашова О. Н., Чигрина А. Н.****MODELING THE SYNTACTIC STRUCTURE OF SENTENCES****Romashova O.N., Chigrina A.N.**

Предложен метод построения модели синтаксической структуры предложения на основе системы синтаксических групп А.В. Гладкого.

Актуальность автоматического определения правильной синтаксической структуры предложения позволяет повысить эффективность информационных систем, анализирующих и генерирующих тексты на естественном языке.

Разработанный метод будет полезным в областях машинного перевода, машинного обучения, генерации текста и других задачах, где необходим семантический анализ отдельных фраз и предложений.

В ходе исследования использовались следующие методы: анализ, метод аналогий, синтез.

Ключевые слова: *аппарат системы синтаксических групп (ССГ), синтаксическое дерево, синтаксическая модель, машинный перевод, естественный язык, набор структурированных данных (DataSet).*

Введение. Накопление больших объёмов текстовой информации обуславливает необходимость разработки программных средств автоматической обработки текстов.

Автоматическая обработка текста – это процесс автоматической обработки и анализа текстовой информации с помощью компьютерных программ [1]. Этот процесс включает в себя различные виды манипуляций с текстом, такие как синтаксический анализ, морфологический анализ, выделение ключевых слов и фраз, определение тональности и т.д.

Первый этап автоматической обработки текста – анализ синтаксической структуры предложения. Синтаксическая структура отдельной фразы или предложения определяет порядок взаимодействия отдельных словоформ и уже на этом шаге позволяет отличать текст, имеющий определённый смысл от бессмысленного набора слов. Важность автоматического определения правильной синтаксической структуры предложения обусловлена необходимостью повышения эффективности информационных систем, анализирующих и генерирующих тексты на естественном языке. Правильное определение синтаксической структуры предложения создает

предпосылки дальнейшего семантического анализа текста. Это может быть полезным в таких областях, как машинный перевод, обработка текстов, генерация текста и других задачах, где необходимо понимание текста на естественном языке.

Целью данной работы является моделирование синтаксической структуры языка на основе системы синтаксических групп А.В. Гладкого.

Результаты исследований. В качестве основного метода формального описания синтаксических структур принят аппарат системы синтаксических групп (ССГ) Гладкого А.В., подробно описанный в [2] и уточнённый в работе [3].

В данной работе предлагается использовать набор структурированных данных (DataSet) с целью создания модели ССГ. Отметим, что структурированный набор данных DataSet не зависит от использования конкретной ССГ. Исходная разметка текста может быть произвольной, что придает алгоритму системность и универсальность.

Сначала введём понятие морфологического класса. Любая словоформа языка имеет свой набор морфологических признаков. Например, в русском языке к морфологическим признакам относится часть речи, род, число, падеж, краткая или полная форма и т.д. Набор морфологических признаков определяется частью речи, к которой относится словоформа. Например, словоформа «Автобус» является существительным, неодушевлённым, мужского рода в единственном числе. В зависимости от синтаксической роли в предложении имеет именительный или винительный падеж. Если морфологические признаки объединить в список, то получим морфологический класс. Для рассмотренного примера «Автобус» может относиться к одному из классов:

«Сущ;Одуш=НОдуш;Падеж=И;Род=М;Число=Ед»

или

«Сущ;Одуш=НОдуш;Падеж=В;Род=М;Число=Ед».

Всего по данным национального корпуса русского языка [4] получено 668 морфологических классов для самостоятельных и служебных частей речи, а также с учётом чисел и выражений. Фрагмент идентифицированных классов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Фрагмент таблицы морфологических классов

ИД	Морфологический класс
1	Глаг; Вид=НСов; Время=Наст; Залог=Ср; Лицо=3; Накл=Изъяв; Перех=НПерех; Число=Мн
2	Пред; Значен=в
3	Прил; КрПолн=Полн; Падеж=И; Число=Мн
4	ПрилМ; Падеж=И; Число=Мн
5	ПрилМ; Падеж=П; Род=М; Число=Ед
6	Сущ; Одуш=НОдуш; Падеж=П; Род=М; Число=Ед
7	Сущ; Одуш=Одуш; Падеж=И; Род=М; Число=Мн

Определение морфологических классов не является целью данной статьи, поэтому будем считать, что имеется некий алгоритм, определяющий морфологический класс для заданной словоформы.

На следующем шаге рассмотрим процесс построения синтаксической структуры предложения. Рассмотрим предложение с построенным деревом синтаксического подчинения (рис. 1). Дугами обозначены подчинительные связи. Стрелка указывает направление от главного слова к зависимому. Подчинительная связь образуется, когда можно задать вопрос от главного слова к зависимому. Фигурной скобкой обозначена сочинительная связь членов предложения.

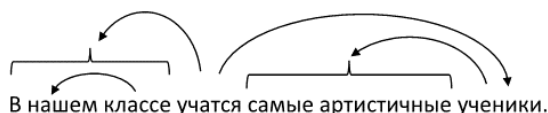


Рис. 1. Дерево синтаксического подчинения

Преобразуем дерево синтаксического подчинения к виду, представленному на рис. Рис. 2. Каждый узел построенного дерева определяет синтаксическое правило. В подчинительных связях главное слово обозначено маркером «х».

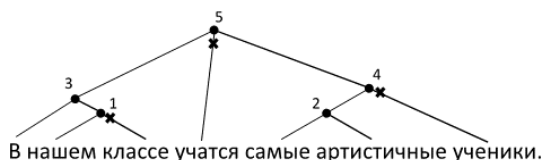


Рис. 2. Дерево синтаксического подчинения с выделенными узлами

Итак для дерева на рис. Рис. 2 можно выделить пять синтаксических правил. Синтаксическое правило образуется путём замены словоформ их

морфологическими классами. Определим морфологические классы каждой словоформы предложения (табл. 2).

Таблица 2

Фрагмент таблицы морфологических классов

Словоформа	Морфологический класс
в	Пред; Значен=в
нашем	ПрилМ; Падеж=П; Род=М; Число=Ед
классе	Сущ; Одуш=НОдуш; Падеж=П; Род=М; Число=Ед
учатся	Глаг; Вид=НСов; Время=Наст; Залог=Ср; Лицо=3; Накл=Изъяв; Перех=НПерех; Число=Мн
самые	ПрилМ; Падеж=И; Число=Мн
артистичные	Прил; КрПолн=Полн; Падеж=И; Число=Мн
ученики	Сущ; Одуш=Одуш; Падеж=И; Род=М; Число=Мн

Таким образом, правило 1 устанавливает подчинительную связь между классами «ПрилМ; Падеж=П; Род=М; Число=Ед» и «Сущ; Одуш=НОдуш; Падеж=П; Род=М; Число=Ед», а правило 3 устанавливает сочинительную связь между предлогом «Пред; Значен=в» и существительным «Сущ; Одуш=НОдуш; Падеж=П; Род=М; Число=Ед».

Так как все морфологические классы имеют идентификаторы, то синтаксические правила можно записать, ссылаясь на морфологические классы. Например, правило для узла 1 примет вид: 1\$5&6. Числа 5 и 6 обозначают идентификаторы морфологических классов, знак «&» обозначает конкатенацию и одновременно играет роль разделителя между идентификаторами. Число 1 обозначает позицию идентификатора, который следует считать главным (нумерация позиций начинается с 0, т.е. 5 имеет позицию 0, 6 – 1).

Правило для узла 3 – группировка предлога с существительным. Главное слово отсутствует, поэтому правило имеет вид 2&6.

На данном этапе следует обратить внимание на очень важную деталь. При создании структуры зависимые элементы подчиняются только главному и в дальнейшем могут быть отброшены. Например, в словосочетании «нашем классе» прилагательное «нашем» можно отбросить после применения правила, и дальше рассматривать только главное слово «классе», с которым предлог «в» образует сочинительную связь. Несколько иначе обстоят дела с группами. Группа фактически образует новую смысловую единицу, каждый элемент которой не может быть рассмотрен отдельно. Так, в группе «в классе» невозможно отдельно рассматривать предлог или существительное. Вместе они образуют новый смысл. Следовательно, группы требуют создания для них нового идентификатора, который бы далее можно было использовать наряду с идентификаторами морфологических классов.

Весь процесс формализации структуры на рис. Рис. 2 можно представить в виде последовательности шагов:

- узел 1: 1\$5&6
- узел 2: 4&3, присвоить идентификатор 8
- узел 3: 2&6, присвоить идентификатор 9
- узел 4: 1\$8&7
- узел 5: 1\$9&1&7

В конечном итоге получится набор данных, состоящий из словоформ, морфологических классов и синтаксических правил. Алгоритм применения правил строит для заданного предложения синтаксическую структуру. Если имеющийся набор синтаксических правил позволяет сформировать синтаксическое дерево, то исходное предложение имеет верную синтаксическую структуру и несёт определённый смысл. Если дерево получить невозможно, то структура считается неверной, а предложение бессмысленным.

Предложение, приведённое на рис. 2, имеет один корневой узел, что соответствует понятию проективной структуры в математической лингвистике [5]. Применяемая к разметке текста ССГ должна иметь такой набор правил, который позволял бы строить проективное дерево для тех предложений, которые принято считать правильными в рамках заданного языка.

Выводы. Таким образом, если собрать большой набор предложений определённого языка и осуществить его разметку с помощью правил ССГ так, чтобы для каждого предложения была получена проективная структура, то можно построить синтаксическую модель, способную определять корректность произвольного предложения заданного языка, расставлять знаки препинания, а также генерировать синтаксически правильный текст.

Л и т е р а т у р а

1. Автоматическая обработка текста [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ruscorpora.ru/> (дата обращения: 06.05.2023).
2. Гладкий, А. В. Синтаксические структуры естественного языка в автоматизированных системах общения / А. В. Гладкий. – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 144 с.
3. Коротаяев, Н. А. Синтаксические группы А. В. Гладкого: анализ конструкций с сочинением / Н. А. Коротаяев // Вестник РГГУ. Серия: Литературоведение. Языкознание. Культурология. - 2013. - №8 (109). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/sintaksicheskie-gruppy-a-v-gladkogo-analiz-konstruktsiy-s-sochineniem-1> (дата обращения: 05.05.2023).

4. Национальный корпус русского языка [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ruscorpora.ru/> (дата обращения: 05.05.2023).

5. Гладкий, А. В. Формальные языки и грамматики / А. В. Гладкий. – М.: Наука, 1973. – 368 с.

Chigrina A. N., Romashova O. N.

MODELING THE SYNTACTIC STRUCTURE OF SENTENCES

A method for constructing a model of the syntactic structure of a sentence based on the system of syntactic groups of A.V. Gladkiy.

The relevance of automatically determining the correct syntactic structure of a sentence makes it possible to increase the efficiency of information systems that analyze and generate texts in natural language.

The developed method will be useful in the areas of machine translation, machine learning, text generation and other tasks where semantic analysis of individual phrases and sentences is required.

The following methods were used during the study: analysis, analogy method, synthesis.

Keywords: syntax group system (SGS) apparatus, syntax tree, syntax model, machine translation, natural language, structured data set (DataSet).

Ромашова Ольга Николаевна, старший преподаватель кафедры «Информатика и программная инженерия», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: romashova_olga@mail.ru

Romashova Olga Nikolaevna, senior lecturer of the department "Computer science and software engineering", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Чигрина Анастасия Николаевна, ассистент кафедры «Информатика и программная инженерия», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: nastya.lady.anastasiya@mail.ru

Chigrina Anastasiya Nikolaevna, assistant of the department "Computer science and software engineering", Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновационной деятельности ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 04.05.2023

УДК 621.742.22

ЛИТЕЙНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЛИГНИНА

Свинороев Ю. А., Гутько Ю. И.

FOUNDRY BINDING MATERIALS BASED ON TECHNICAL LIGNIN

Svinoroev Yu. A., Gutko Yu. I.

Разработан новый отечественный связующий материал с повышенными прочностными свойствами на основе продуктов переработки технического лигнина, а именно, технических лигносульфонатов (ЛСТ), за счет их обработки высокоэффективными химическими модификаторами.

Дана оценка возможностей применения ЛСТ, с повышенными прочностными свойствами в технологических процессах литья. Сформулированы потенциальные области их применения: в качестве связующего для литейного производства, при производстве отливок из чугуна, стали и цветных металлов для изготовления стержней и форм методами конвективной сушки, в нагреваемой оснастке, продувкой горячим воздухом при пескодувной и пескострельной формовке; в качестве связующего для брикетирования различных сыпучих материалов в металлургической и горнорудной промышленности, для порошковой металлургии; в качестве связующего для разнообразных литейных красок и технологических замазок в процессе устранения мелких дефектов литейных форм и стержней.

Раскрыто содержание адаптационных работ по реализации разработанного связующего на основе технического лигнина в практику применения при производстве отливок.

Предложен вариантный анализ проведения процесса модифицирования в производственных условиях.

Сформулированы достоинства применения разработанного связующего: низкие цены (относительно смоляных и масляных связующих); экологичность и безопасность на различных этапах технологического цикла (хранение, транспортировка, приготовление, формовка, отверждение, заливка, выбивка, регенерация); отсутствие жестких регламентов при хранении; неограниченность и возобновляемость сырьевого ресурса (исходным сырьём для производства предлагаемого связующего материала служат вторичные продукты переработки различных растительных материалов, прежде всего древесины, в отличие от смол и масел, где сырьём служит нефть), что предотвращает тенденцию роста цен на этот материал на ближайшую перспективу и в будущем; облегченная выбиваемость стержней (для литейного производства); облегченная регенерируемость отработанных смесей (для литейного производства); управляемость свойств, возможность адаптации к условиям технологии по широкому спектру параметров:

связующая способность (прочность), скорость отверждения, технологичность и др.; простота технологии модифицирования.

Ключевые слова: технический лигнин, технические лигносульфонаты, литейные связующие материалы, растительное сырьё, модифицирование, технологические процессы производства отливок, связующая способность.

Введение. Традиционно основной заготовительной базой машиностроительной отрасли является литейное производство. На долю его продукции, в структуре ее потребностей приходится от 40 до 60%, при этом, доля литья, которое производится в разовых песчаных формах, составляет порядка 80% [1]. Такое состояние предопределяет важность и значимость обеспечения соответствующего качества литейной формы и соблюдения, при этих условиях, экологической безопасности в литейном производстве в целом. При этом, качество и экологические требования, постоянно ужесточающиеся, в значительной мере зависят от формовочных материалов, прежде всего, от связующих материалов использующихся в литейной технологии [2, 3]. В этой связи, задачи обеспечения производства качественными, экологически безопасными, не дефицитными и не дорогими по стоимости связующими материалами являются на данное время особенно актуальными для Российских предприятий [4, 5].

В структуре задач обеспечения требуемого качества литейной формы ключевую роль играют связующие материалы, это определяется следующими факторами [6]:

1) на долю формовочных и стержневых работ приходится до двух третей всех трудозатрат при изготовлении отливок, особенно в единичном и мелкосерийном производствах, которые трудно поддаются механизации и автоматизации;

2) структуре себестоимости песчаной литейной формы связующие материалы традиционно занимают первые места, та как они являются наиболее дорогостоящие её составляющие, а

поскольку, в подавляющем большинстве случаев, первичным сырьём для их производства является углеводороды, запасы которых ограничены, то этот класс материалов имеет уверенную тенденцию к удорожанию;

3) являясь сложными по химическому составу веществами, литейные связующие являются потенциальными источниками генерирования на различных этапах производства отливок наиболее опасных выбросов в окружающую среду (бензапирен, акролеин, формальдегид и т.д.). Это, одновременно, ужесточает требования к санитарно-гигиеническим условиям работы персонала в литейном цеху и обуславливает необходимость принятия определенных мер обеспечения охраны труда, вызывая дополнительные непроизводственные расходы, а в случае их не соблюдения, приводит к разнообразным заболеваниям работников, что вызывает нездоровый социально-психологический климат в трудовом коллективе;

4) связующие материалы во многом лимитируют регламент проведения технологических процессов литья, поскольку имеют жесткие требования по срокам и условиям хранения, а также по нормативам их практического применения.

Все перечисленное, диктует необходимость поиска новых связующих материалов для литейного производства.

Практика работы промышленных предприятий показывает, что технические решения, базирующиеся на концепции ресурсосбережения, позволяют получать более дешёвые, экологически чистые, а значит и конкурентно способные конечные продукты. Коснемся области использования связующих материалов.

На промышленных предприятиях, где они применяются как компонент технологии, а это: литейное производство, металлургия, производство древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит, фанеры, в строительной индустрии и автопроме – целесообразен переход на связующие производимые из растительного сырья.

Отсутствие реальных шагов в этом направлении приводит к возникновению целого спектра негативных проблем: удорожание конечной продукции, за счет повышения её себестоимости (неуклонный рост цен на нефть и природный газ); снижение, по этой причине её конкурентоспособности; ухудшение экологической ситуации в местах расположения подобных производств; снижение производственной безопасности; увеличение всевозможных профессиональных заболеваний связанных с применением дорогостоящих и экологически опасных связующих материалов на основе разнообразных синтетических смол и масляных связующих.

Цель работы состояла в оценке разработанных способов повышения прочностных характеристик

материалов на основе технического лигнина, представленного лигносульфонатными связующими (ЛСТ), для практического их применения в технологических процессах литья.

Материалы и результаты исследования.

Наиболее значимыми способами повышения связующей способности ЛСТ, с точки зрения успешного использования в технологических процессах литья, есть их модифицирование неионогенными ПАВ и высокоэнергетическая механическая активация или механоактивация.

Полученные результаты [6, 7] открывают возможность расширить применение ЛСТ, со всеми вытекающими из его преимуществ положительными эффектами, однако практическое применение требует проведения адаптационных работ, которые будут состоять:

- в оценке литейных технологий, где применяют дорогостоящие и опасные синтетические смолы и масляные связующие материалы, на предмет их замены лигносульфонатными материалами, обработанными по предложенным алгоритмам;

- в разработке составов смесей, для этих технологий и их практическое опробование, взамен существующих, на предмет обеспечения требуемого уровня качества;

- в оптимизации параметров литейных процессов, где «встраивается» связующий материал на основе ЛСТ;

- в проведении опытно-промышленных испытаний в условиях литейного цеха, коррекция содержания технологических операций (определение производственных площадок и монтаж дезинтеграторных установок, при их применении, определение и «обустройство» мест ввода модификатора и т.д.);

- в разработке технических условий, для применения составов смесей с ЛСТ НПАВ, взамен смесей с масляными или смоляными материалами.

Наиболее важным, является первый из перечисленных выше этапов, поскольку он задаёт все дальнейшие действия и получаемые результаты. Содержание работ, на этом этапе, будет состоять:

- в сравнении прочностных характеристик связующих (ЛСТм и применяемого);

- в проведении комплекса поисковых лабораторных исследований для адаптации связующего материала к условиям конкретного производства;

- в проведении серии опытно-промышленных испытаний в условиях реального производства для обеспечения технологичности процесса и применения и обеспечения получения качественного литья;

- в отслеживании технологического процесса производства отливок на предложенном литейном связующем, с целью оптимизации технологического процесса и выработке технологических регламентов;

- в экономическом обосновании целесообразности применения по всем аспектам технологического процесса (технологичность, экономичность, качества, экологичность, изменение условий труда и т.д.).

Оценивая уровень полученных результатов [6, 7, 8] и набор существующих технологий

применения связующих материалов [1, 9, 10], а так же учитывая специфику лигносульфонатных материалов, состоящую в том, что это связующее на водной основе, требующее теплового воздействия для отверждения, целесообразно проанализировать всю «систему координат: возможности ЛСТ – технологии смесеприготовления» (табл. 1).

Таблица 1

Оценка возможностей практического применения ЛСТ, с повышенными прочностными свойствами в технологических процессах литья

Технологии смесеприготовления и отверждения литейных стержней и форм	Чугунное литье	Стальное литье	Примечания
Технологии отверждения конвективной сушкой	1. Разработан и внедрен в производство состав стержневой смеси для производства мелкого чугуна фасонного литья (метод модифицирования) 2. Разработан экспериментальный состав формовочной смеси со сниженным содержанием связующего КО и ускоренным циклом отверждения (метод механоактивации)	1. Разработан и опробован состав стержневой смеси для производства мелкого стального литья (метод модифицирования). 2. Разработан экспериментальный состав формовочной смеси со сниженным содержанием связующего КО и ускоренным циклом отверждения (метод механоактивации)	Экологический эффект, снижение вредных выбросов в окружающую среду, снижение себестоимости литья, за счет уменьшения использования связующего КО
Технологии отверждения в нагреваемой оснастке	Разработан состав стержневой смеси для производства стержней раструба (массой не более 10кг) в изготовлении чугунных водонапорных и канализационных труб (метод модифицирования)	Исследований не проводилось	Экологический эффект, снижение вредных выбросов в окружающую среду, снижение себестоимости литья, за счет уменьшения использования карбомидо-формальдегидных смол (КФ –О, КФ –МТ)
Технологии отверждения с продувкой горячим газом	Разработан состав стержневой смеси для производства стержней раструба (любой массы) в изготовлении чугунных водонапорных и канализационных труб (метод модифицирования)	Исследований не проводилось	Снижение себестоимости литья улучшении экологического состояния за счет применения модифицированных ЛСТ без использования смоляных связующих. Технологические трудности
Технологии ХТС	Проведены поисковые эксперименты для составов формовочных смесей (метод модифицирования)	Проведены поисковые эксперименты для составов формовочных смесей (метод модифицирования)	Трудность реализации в необходимости эффективных отвердителей
Технологии ЖСС	Исследований не проводилось	Исследований не проводилось	

Сводная, оценка возможностей практического применения ЛСТ, с повышенными прочностными свойствами в технологических процессах литья приведенная в таблице 1. Следует отметить, что на сегодняшний день, результаты работы реализованы в технологи производства чугуна фасонного литья, при этом используется метод модифицирования ЛСТ неионогенными поверхностно-активными веществами (НПАВ). Применение разработанной стержневой смеси

такого типа, может быть использовано и для мелкого стального литья, лабораторные эксперименты показателей ее прочности соответствуют требуемым нормативам, однако необходимы промышленные испытания. Доработка состава должна быть сосредоточена на вопросы обеспечения требуемой термостойкости для обеспечения качества стального литья.

Наиболее рационально начать внедрение с технологий, где ЛСТ применяются традиционно

(технологии производства стержней и форм отверждаемых конвективной сушкой) для производства чугунного литья. Направлением усовершенствования в этом случае будет частичное или полное устранение из технологии масляных связующих типа КО или УСК. При этом, достаточно использовать способ модифицирования ЛСТ неионогенными ПАВ.

Рассмотрим более детально технологические процессы получения стержней с применением нагрева для их отверждения. Технология изготовления стержней в нагреваемой оснастке и с конвективной сушкой использует различные токсичные синтетические смолы, масляные связующие и их комбинации. Недостатком этого технологического процесса является необходимость применения дорогостоящих и часто дефицитных связующих материалов, что приводит к повышению материальных затрат на стержневую смесь. Кроме того, в процессе производства стержней в рабочую зону и окружающую среду выделяется значительное количество токсичных соединений, создающих неблагоприятные санитарно-гигиенические условия труда [2, 3]. Поэтому актуальной становится задача совершенствования технико-экономических и санитарно-гигиенических показателей этой технологии.

Поставленный вопрос, может быть решен различными путями:

- сочетанием синтетических смол с малотоксичными связующими;
- подбором специальных катализаторов горячего / холодного отверждения;
- созданием принципиально новых малотоксичных связующих на основе

модифицированных ЛСТ со свойствами смол или масляных материалов [1, 2];

- комбинацией перечисленного.

Первый и второй пути позволяют несколько сократить содержание токсичных смол в смесях, однако не решают проблему существенного улучшения санитарно-гигиенических условий труда. Поэтому создание малотоксичных связующих на основе ЛСТ со свойствами высокоэффективных связующих является эффективным инструментом для решения комплекса вопросов связанных с экономичностью – ЛСТ дешевле, экологичностью – ЛСТ чище и санитарно-гигиеническими условиями труда в литейных цехах. Это открывает перспективу появления нового поколения стержневых смесей, отвечающих экологическим требованиям современного производства [2, 3].

Методы механоактивации ЛСТ целесообразно применять для улучшения показателей качества формовочных смесей. Механоактивация приводит к увеличению связующей способности ЛСТ с 0,4 до 0,9 МПа, т.е. в два раза, что открывает возможность использовать этот эффект для совершенствования составов формовочных смесей, как для производства чугунного так и для производства стального литья (табл. 2). Разработаны экспериментальные составы облицовочных формовочных смесей, для формовки по сухому ориентированные на производство мелкого фасонного чугунного литья. ЛТС обрабатывались в рекомендованных режимах высокоэнергетических воздействий на дезинтеграторной установке УДА 100. данные составы формовочных смесей применяют как для производства литья из серого чугуна, так и для изготовления стальных отливок из углеродистой стали.

Таблица 2

Сравнительная оценка облицовочных формовочных смесей для формовки по-сухому на основе ЛСТ обработанных методами механоактивации

Компоненты состава:	Составы и показатели качества			
	Экспериментальные составы			Базовый состав смеси, соответствующие показатели качества
	1	2	3	
Кварцевый песок марки 1К02Б, Верхнеднепровский, %	30	35	40	42
Горелая земля после регенерации, %	53	48	43	38
Формовочная глина, %	3	3	3	6 – 8
ЛСТ, %	4	4	4	4 – 8
Древесные опилки, %	10	10	10	10
Показатели качества:				
Влажность, %	6,9	6,8	6,9	6,0 – 7,0
Газопроницаемость, ед.	100	100	100	101
Прочность в сыром состоянии кгс/см ²	0,25	0,27	0,31	0,27 – 0,33
Прочность в сухом состоянии, МПа	0,42	0,44	0,48	0,33 – 0,45
Продолжительность сушки, мин (при температуре 200 ⁰ С)	30	30	30	45

Целью поисковых экспериментов было, установить возможность применения методов механоактивации ЛСТ для оптимизации состава формовочной смеси, при этом снизив содержание

«чистого» песка, за счет увеличения применения регенерата. Изучалась возможность уменьшения использования формовочной глины и изменения цикла отверждения.

Рассматривались вопросы уменьшения длительности отверждения, для сушки полуформ на базовом (применяющегося в производстве) составе смеси, он составляет 4 часа при температуре 200 - 220 °С.

Таким образом, применение метода механоактивации ЛСТ приводит к рационализации состава формовочной смеси: возможно снижение объёмов применения «чистого» формовочного песка за счет увеличения доли регенерата и сокращение использования формовочной глины в два раза.

При этом продолжительность сушки может быть сокращена на 20 – 25%, однако для более

точных суждений по этому поводу необходимы дополнительные промышленные испытания.

Приведенные результаты позволяют говорить о потенциальной возможности применения метода механоактивации ЛСТ для применения оптимизации составов формовочных смесей.

Актуальным является вопрос ввода модификатора при дозировании его в состав ЛСТ.

Было сказано о нескольких вариантах осуществления этого процесса (в емкости для хранения, в накопительных баках, в дозаторах). Общая схема проведения процесса модифицирования показана на рис. 1.

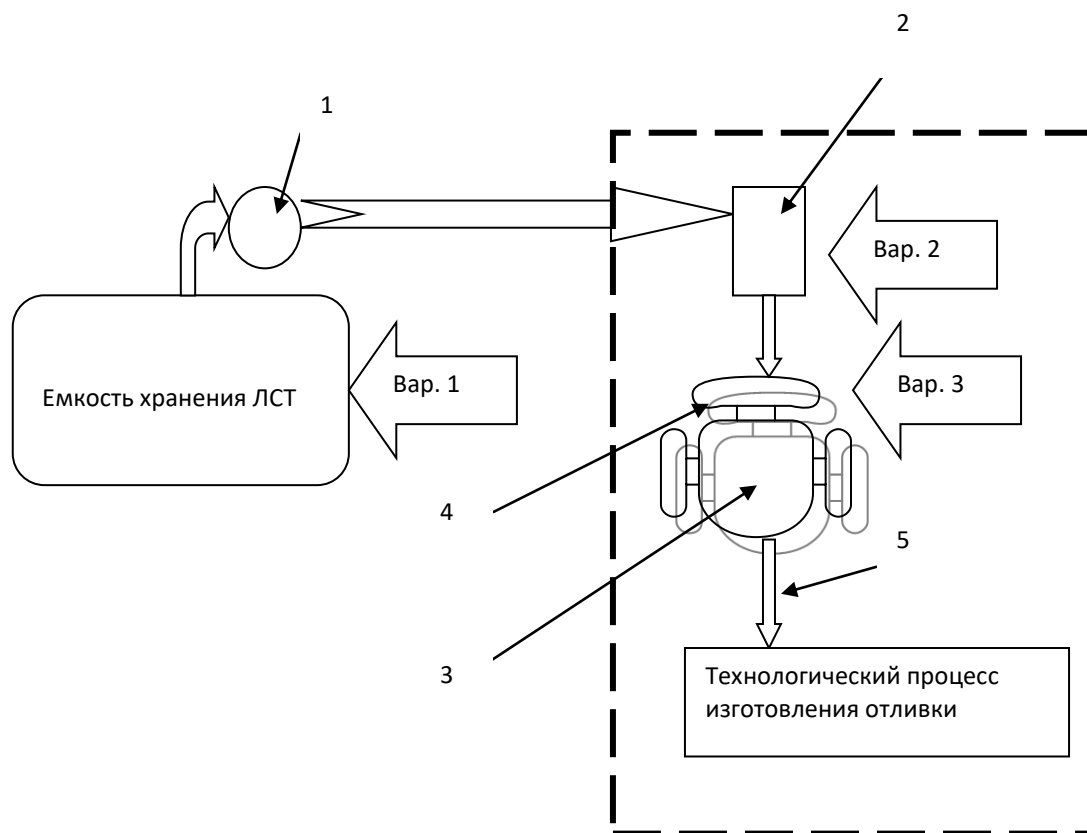


Рис. 1. Варианты схем модифицирования ЛСТ

1 – система подачи связующего в литейный цех; 2 – накопительный бак для связующего в литейном цеху; 3 – бегуны; 4 – дозаторы бегунов; 5 – подача смеси для изготовления форм и стержней

Варианты модифицирования представленные на рисунке можно реализовать тремя способами:

- вариант 1 - в емкость хранения ЛСТ;
- вариант 2 – в накопительный бак в литейном цеху;
- вариант 3 – в дозатор бегунов.

Первый вариант целесообразно применять когда ЛСТ в полном объеме необходимо применять в модифицированном виде. Его недостатком являются технические неудобства при осуществлении процесса перемешивания и необходимости, при этом соблюдения температурных режимов.

Второй вариант, является наиболее приемлемым, поскольку на этом участке оптимальным образом можно реализовать условия необходимые для осуществления технологии модифицирования. Это обусловлено приемлемыми, для технического осуществления процесса объемами (баки от 400л, до 2000л) и условиями реализации процесса – перемешивание, подогрев.

Третий вариант, реализации целесообразен при реализации процесса модифицирования ЛСТ НПАВ в условиях единичного (ремонтного) производства, когда технологические процессы ведутся на не регулярной основе.

Перспективным является поиск возможностей применения полученных результатов для приготовления ХТС и ЖСС. Поисковые эксперименты по созданию ХТС на основе модифицированных НПАВ ЛСТ показали перспективность такого направления, однако трудности, в данном вопросе, связаны с поисками эффективных отвердителей: не токсичных и позволяющих конкурировать по скорости отверждения с ХТС на смоляных связующих.

С точки зрения регенерации, практический опыт применения состава стержневой смеси для производства чугуна фасонного литья свидетельствует о том, что расширение применения связующих с ЛСТ увеличивает восстановительные свойства отработанных смесей на 12 – 14%.

Основные результаты работы. Разработан новый связующий материал на основе продуктов переработки технического лигнина, а именно, технических лигносульфонатов, за счет их обработки высокоэффективными химическими модификаторами.

Подобная обработка (модифицирование) ЛСТ, позволяет получать материал со стабильными свойствами и связующей способностью по уровню не уступающей синтетическим смолам (0.5-0.7 МПа/%), при этом стоимость получаемой связующей композиции (ЛСТм) существенно не увеличивается, экологические характеристики не ухудшаются (в продуктах деструкции отсутствует фенол, бензол, формальдегид неизменно сопутствующие использованию смол и масел). Это открывает возможность частично или полностью отказаться от применения дорогостоящих и экологически вредных синтетических смол и масляных связующих, за счет использования результатов предлагаемой разработки.

Технические лигносульфонаты, традиционно применяемый связующий материал, получаемый при переработке крупнотоннажных отходов целлюлозно-бумажных комбинатов, дешевый и экологичный, имеющий большие сырьевые ресурсы для производства, однако его удельная доля, в общем объеме использования связующих материалов, достаточно мала, в сравнении с синтетическими смолами, масляными связующими и жидким стеклом. Причиной этому является его низкая связующая способность, не стабильность свойств, высокая гигроскопичность, длительный цикл отверждения. Данное исследование направлено на преодоление этого препятствия.

Потенциальные области применения:

- в качестве связующего для литейного производства, при производстве отливок из чугуна, стали и цветных металлов для изготовления стержней и форм методами конвективной сушки, в нагреваемой оснастке, продувкой горячим воздухом при пескодувной и пескострельной формовке;
- в качестве связующего для брикетирования различных сыпучих материалов в металлургической

и горнорудной промышленности, для порошковой металлургии;

- в качестве связующего для разнообразных литейных красок и технологических замазок в процессе устранения мелких дефектов литейных форм и стержней.

Достоинства:

- низкие цены (относительно смоляных и масляных связующих);
- экологичность и безопасность на различных этапах технологического цикла (хранение, транспортировка, приготовление, формовка, отверждение, заливка, выбивка, регенерация);
- отсутствие жестких регламентов при хранении;
- неограниченность и возобновляемость сырьевого ресурса (исходным сырьем для производства предлагаемого связующего материала служат вторичные продукты переработки различных растительных материалов, прежде всего древесины, в отличие от смол и масел, где сырьем служит нефть), что предотвращает тенденцию роста цен на этот материал на ближайшую перспективу и в будущем;
- облегченная выбиваемость стержней (для литейного производства);
- облегченная регенерируемость отработанных смесей (для литейного производства);
- управляемость свойств, возможность адаптации к условиям технологии по широкому спектру параметров: связующая способность (прочность), скорость отверждения, технологичность и др.;
- простота технологии модифицирования.

Выводы. В результате проведенных исследований установили, что:

создание малотоксичных связующих на основе ЛСТ со свойствами высокоэффективных связующих является эффективным инструментом для решения комплекса вопросов связанных с повышением ресурсоэффективности процессов литья.

применение метода механоактивации ЛСТ приводит к рационализации состава формовочной смеси: возможно снижение объемов применения «свежего» формовочного песка за счет увеличения доли регенерата и сокращение использования формовочной глины в два раза. При этом продолжительность сушки может быть сокращена на 20 – 25%, однако для более точных суждений по этому поводу необходимы дополнительные промышленные испытания.

Литература

1. Технология литейного производства: учебное пособие для практических занятий / А.И. Батышев, В.Д. Белов, К.А. Батышев, С.А. Сироткин, П.Д. Смелянец, Ю.А. Свиногоев, В.Д. Рябичев, Гутько Ю.И. – Москва, Луганск: Изд-во «Перо»/ Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2022 – 266 с.
2. Инженерная экология литейного производства: Учебное пособие / [А. Н. Болдин, А. И. Яковлев, С. Д.

Тепляков] ; под общ. ред. А.Н. Болдина. – М.: Машиностроение, 2010. – 352 с.

3. Митрохина А.С. , Макарова А.Е. Вредные факторы литейного производства/ Современные наукоемкие технологии №5, 2014. С. 103

4. Мельников А.П., Кукуй Д.М. Современные тенденции развития технологии в литейном производстве// Литье и металлургия – №3 (47). 2008. – С. 65-80.

5. Дибров, И. А. Состояние и перспективы развития литейного производства России = State and prospects development of foundry production in Russia / И. А. Дибров // Литейное производство и металлургия 2021. Беларусь [Электронный ресурс] : 29-я Международная научно-техническая конференция и информационная выставка : труды участников конференции / Белорусский национальный технический университет ; под общ. ред. Е. И. Маруковича ; ред.: С. В. Машканова [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 6-11

6. Свиноров Ю.А. Разработка и применение новых экологически чистых связующих материалов на основе технического лигнина в производстве отливок: монография / Свиноров Ю.А. – Москва, Луганск: Изд-во «Перо»/Изд-во ЛГУ им. В. Даля , 2023. – 218 с.

7. Свиноров Ю.А. О потенциале применения лигносульфонатов в качестве связующих для технологических процессов литья./ Ю.А. Свиноров, Р. Бэр, Ю.И. Гутько // Литейное производство. – 2016. – №12. – С.23 – 26.

8. Falah Mustafa Al- Sarairoh & Yuri Svinoroev Assessment of casting binding materials based on modified technical lignosulfonates/ International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD) ISSN (P): 2249–6890; ISSN (E): 2249–8001 Vol. 10, Issue 2, Apr 2020, 335–346

9. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия. Справочник.; Болдин А.Н. , Давыдов Н.И., Жуковский С.С. и др. – М.: Машиностроение 507стр., 2006

10. Информационный ресурс «Hüttenes-Albertus », Германия, адрес доступа: <http://www.huettene-albertus.ru/>

Svinoroev Yu.A., Gutko Yu.I.

FOUNDRIY BINDING MATERIALS BASED ON TECHNICAL LIGNIN

A new domestic binder with increased strength properties has been developed based on the products of processing technical lignin, namely, technical lignosulfonates (LST), due to their treatment with highly effective chemical modifiers.

An assessment of the possibilities of using LST with increased strength properties in casting processes is given. The potential areas of their application are formulated: as a binder for foundry production, in the production of castings from cast iron, steel and non-ferrous metals for the manufacture of rods and molds by methods of convective drying, in heated tooling, by hot air blowing during sandblasting and sandblasting; as a binder for briquetting various bulk materials in the metallurgical and mining industries, for powder metallurgy; as a binder for a variety of

foundry paints and technological putties in the process of eliminating minor defects in molds and rods.

The content of adaptation works on the implementation of the developed binder based on technical lignin in the practice of application in the production of castings is disclosed.

A variant analysis of the modification process in production conditions is proposed.

The advantages of using the developed binder are formulated: low prices (relative to resin and oil binders); environmental friendliness and safety at various stages of the technological cycle (storage, transportation, preparation, molding, curing, pouring, knocking, regeneration); absence of strict storage regulations; unlimited and renewable raw material resources (the raw materials for the production of the proposed binder are secondary products of processing of various plant materials, primarily wood, unlike resins and oils, where oil is the raw material), which prevents the trend of rising prices for this material in the near future and in the future; lightweight knockout rods (for foundry production); lightweight regenerability of waste mixtures (for foundry production); controllability of properties, the ability to adapt to technology conditions for a wide range of parameters: binding capacity (strength), curing speed, manufacturability, etc.; simplicity of modification technology.

Key words: *technical lignin, technical lignosulfonates, foundry binding materials, vegetable raw materials, modification, technological processes of castings production, binding capacity.*

Свиноров Юрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленного и художественного литья» ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

E-mail: desna.us@yandex.ru

Svinoroev Yuri Alekseevich, candidate of technical Sciences, associate Professor kafedri "Industrial and artistic casting" Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Gutko Yuri, Doctor of Technical Sciences, Professor, First Vice-Rector of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lugansk State University named after Vladimir Dahl».

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

Статья подана 09.07.2023

ТРЕБОВАНИЯ

к оформлению статей для публикации в
«ВЕСТНИК: НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ»
ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет 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--p1ai/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--p1ai/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

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

ПРИМЕЧАНИЕ:

1. Место работы писать **ПОЛНОСТЬЮ** для сотрудников

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.
«LSU named after V. Dahl», Lugansk.

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 журнала (полное название место работы рецензента).

5. Распечатка на антиплагиат.

ВЕСТНИК: НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»
№ 7 (73) 2023

Оригинал-макет

Коломиец-Кириллова Е.А.

Подписано к печати 28.08.2023.
Формат 60х84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times
Условных печатных стр. 39,19. Тираж 100 экз. Изд. № 01404.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Луганского государственного университета
имени Владимира Даля

Свидетельство о регистрации серия МИ-СГР ИД 000003 от 20.11.2015 г.

Адрес издательства: 291034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20,а.
Тел.: 7(959) 138-34-80

E-mail: izdat.lguv.dal@gmail.com

http: <http://izdat.dahluniver.ru/>