

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

# **В Е С Т Н И К**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

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

**№ 7(61)  
2022**

**Луганск 2022**

# ВЕСТНИК

ЛУГАНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

**№ 7 (61) 2022**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ОСНОВАН В 2015 ГОДУ  
ВХОДИТ В БАЗУ  
РИНЦ

ОСНОВАТЕЛЬ  
ГОУ ВО ЛНР «ЛУГАНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

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

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

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

**ISSN 2522-4905**

## Главная редакционная коллегия :

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

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

**Ответственный за выпуск:** Тарарычкин И.А.

**Рекомендовано в печать** Ученым советом Луганского государственного университета имени Владимира Даля.  
(Протокол № 5 от 24.12.2021 г.)

Материалы номера печатаются на языке оригинала.

© ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля, 2022  
© SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University», 2022

# VESTNIK

LUGANSK  
VLADIMIR DAHL  
STATE UNIVERSITY

**№ 7 (61) 2022**

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

FOUNDER  
SEE HT LPR  
«LUGANSK VLADIMIR DAHL  
STATE UNIVERSITY»

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

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

**MI-SRG ID 000003 of November, 20 2015**

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПРОБЛЕМА НОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ<br><b>Андреев А.А., Петров А.Г.</b> -----                                                                   | 9  |
| ВЛИЯНИЕ ЗАГРУЖЕННОСТИ И ДАЛЬНОСТИ ПОСТАВОК НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И<br>РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ВЕРТОЛЁТОВ МИ-8 МТВ1 В ЧС<br><b>Андреев А.А., Сингеев А.В.</b> -----                   | 17 |
| К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ САМОСВАЛЬНЫМИ<br>АВТОМОБИЛЯМИ<br><b>Андреев А.А., Чижевская Д.Ю., Петров А.Г., Ветерцовский В.Н.</b> -----                   | 23 |
| НОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКАЗОВ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ<br><b>Антипов И.В., Коструб В.А., Коструб О.М.</b> -----                                                             | 27 |
| АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ВОЗДУШНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН<br><b>Брянцев М.А., Данилейченко А.А., Доценко Д.М.</b> -----                                                                   | 31 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОКУПАЕМОСТИ ЗАТРАТ НА ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ<br>КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ<br><b>Быкадоров В.В., Данилейченко А.А., Любченко Д.И.</b> ----- | 37 |
| ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ<br>ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ ПУТЁМ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАМЕРОВ<br><b>Васильев И.П., Грубич П.С., Батиевский И.С.</b> -----                   | 41 |
| ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕОБОРУДОВАНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОВОЗОВ ДЛЯ РАБОТЫ В<br>УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ<br><b>Дмитриенко А.Б., Атрошенко Д.В., Витренко С.Н.</b> -----         | 46 |
| ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ВЫСОТЫ ВОЗДУШНОЙ<br>ПОДУШКИ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОГО УСТРОЙСТВА ОТ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ<br><b>Жижкина Н.А., Турушина Н.В.</b> -----         | 49 |
| ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРИРАБОТКИ ЭВОЛВЕНТНЫХ<br>ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ЭХМП ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ<br><b>Замота Т.Н., Бондарец О.А.</b> -----                                      | 53 |
| АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАТРАТ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ АВТОМОБИЛЯ В<br>ПРЕДЕЛАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА<br><b>Замота Т.Н., Замота О.Н., Гринько Е.Т.</b> -----                           | 59 |
| ПРОВЕДЕНИЕ СЕРТИФИКАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОСМОТРА АВТОМОБИЛЕЙ ДЛЯ<br>ПОВЫШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ<br><b>Ивченко Т.Б., Арешин А.А.</b> -----                                | 66 |
| ИНТЕГРИРОВАНИЕ ПРЕЦИЗИОННОЙ АНАЛОГОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ В<br>СОВРЕМЕННЫЙ ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС<br><b>Киреев А.Н., Дмитриенко А.Б., Атрошенко Д.В.</b> -----  | 70 |
| ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПРОЦЕССА<br>УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И АГРЕГАТОВ<br><b>Киреев А.Н., Киреева М.А.</b> -----                   | 74 |
| АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ<br>КОНСОЛЬНОГО ФЕРМЕННОГО КРАНА<br><b>Коструб В.А., Мирошников А.А.</b> -----                                  | 81 |
| МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ЗАЖИГАНИЯ<br>ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ<br><b>Крупича О.В.</b> -----                                                 | 85 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ «ЗЕЛЁНОЙ» ЛОГИСТИКИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ<br>ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ ЦЕПЕЙ<br><b>Ленич С.В., Никишкин Ю.А.</b> -----                                          | 92 |

|                                                                                                                                                                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| РАСЧЕТ ПОЛЯ РАССЕЯНИЯ ЛОКАЛЬНО НАМАГНИЧЕННОГО УЧАСТКА<br>ФЕРРОМАГНИТНОГО МЕТАЛЛА С ДВУХСЛОЙНОЙ СТРУКТУРОЙ                                                                                                          |            |
| <b>Ливцов Ю.В., Киреев А.Н., Безкоровайный В.С.</b>                                                                                                                                                                | <b>97</b>  |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ОЖИДАНИЯ ПАССАЖИРА НА<br>ОСТАНОВОЧНОМ ПУНКТЕ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ                                                                                     |            |
| <b>Лучко М.И.</b>                                                                                                                                                                                                  | <b>101</b> |
| ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ<br>КОНТУРНОЙ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА КОЛЕСА И РЕЛЬСА ПО ИЗМЕНЕНИЮ<br>МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛА ГОЛОВКИ РЕЛЬСА В ОБЛАСТИ<br>ИХ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ |            |
| <b>Малахов О.В., Сильянов В.В.</b>                                                                                                                                                                                 | <b>106</b> |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ВЫРАБАТЫВАЮЩЕГО<br>ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ ДВС                                                                                                                                   |            |
| <b>Нечаев Г.И., Чижевская Д. Ю., Никитин Ю.Н., Будиков Л.Я.</b>                                                                                                                                                    | <b>111</b> |
| АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ НА ГРУЗОВЫХ<br>СТАНЦИЯХ И В МОРСКИХ ПОРТАХ                                                                                                                              |            |
| <b>Никишкин Ю.А., Дубасов А.В., Лошаков А.С.</b>                                                                                                                                                                   | <b>117</b> |
| ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ<br>УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НАД ОСНОВНЫМИ<br>ДИАГНОСТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ                                                                              |            |
| <b>Панайотов К.К.</b>                                                                                                                                                                                              | <b>124</b> |
| ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИВОДЕ ШАХТНЫХ ПОДВЕСНЫХ МОНОРЕЛЬСОВЫХ<br>ЛОКОМОТИВОВ НА АККУМУЛЯТОРНОЙ ТЯГЕ                                                                                                                |            |
| <b>Рябко К.А.</b>                                                                                                                                                                                                  | <b>129</b> |
| ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В МОБИЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО<br>ВЗВЕШИВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ                                                                                                  |            |
| <b>Сильянов В.В., Костюченко Д.Н., Малов В.А.</b>                                                                                                                                                                  | <b>135</b> |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСА МЕР ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ<br>ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ<br>МЕТОДОМ SWOT-АНАЛИЗА                                                                    |            |
| <b>Сильянов В.В., Малахова В.В.</b>                                                                                                                                                                                | <b>138</b> |
| К ВОПРОСУ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК<br>РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВПРЫСКА БЕНЗИНА                                                                                                                     |            |
| <b>Сметана С.А., Сидорченко А.В.</b>                                                                                                                                                                               | <b>141</b> |
| ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ<br>ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА                                                                                                                      |            |
| <b>Тарарычкин И.А., Анисимов В.Н.</b>                                                                                                                                                                              | <b>146</b> |
| МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ НА<br>ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ                                                                                                               |            |
| <b>Тасанг Э.Х., Иванова Е.И., Ключев А.С., Мокшина О.В.</b>                                                                                                                                                        | <b>153</b> |
| ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ГУСЕНИЧНЫХ ХОДОВЫХ УСТРОЙСТВ                                                                                                                                                               |            |
| <b>Шовкопляс А.В.</b>                                                                                                                                                                                              | <b>160</b> |
| ФОРМИРОВАНИЯ АССОРТИМЕНТНОЙ ПОЛИТИКИ ТОРГОВОГО<br>ПРЕДПРИЯТИЯ И ЕГО СОДЕРЖАНИЕ                                                                                                                                     |            |
| <b>Горбачева Е.В.</b>                                                                                                                                                                                              | <b>164</b> |
| ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ В<br>ЛУГАНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПЕРВОМ ЭТАПЕ ГРАЖДАНСКОГО КОНФЛИКТА НА ДОНБАССЕ<br>(ДЕКАБРЬ 2013 – ИЮНЬ 2014 гг.)                                          |            |
| <b>Дробот А.Н.</b>                                                                                                                                                                                                 | <b>167</b> |
| АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФЕРРОЗОНДОВОГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ                                                                                                                                                                     |            |
| <b>Ильинский Д.И.</b>                                                                                                                                                                                              | <b>173</b> |

---

|                                                                                                                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МЕТОДА ЭЙЛЕРА-КРОМЕРА РЕШЕНИЯ ОДУ                                                                                                 |            |
| <b>Корсунов К.А., Лыштваев Е.Ю., Харченко Е.И., Чаленко А.В. -----</b>                                                                                      | <b>176</b> |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ И СЦЕНАРНЫЙ АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ<br>ОРГАНИЗАЦИИ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ<br>(НА ПРИМЕРЕ ООО «НПО «ЯМЗ») |            |
| <b>Мызникова М.А. -----</b>                                                                                                                                 | <b>181</b> |
| РОЛЬ КУРСОВЫХ РАБОТ В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ФИЗИКА»                                                                                           |            |
| <b>Харченко Е.И., Чаленко А.В., Лыштваев Е.Ю. -----</b>                                                                                                     | <b>187</b> |
| ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТ ПРИ ИЗУЧЕНИИ<br>ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИКА» В ВУЗЕ                                                                   |            |
| <b>Чаленко А.В., Харченко Е.И., Лыштваев Е.Ю. -----</b>                                                                                                     | <b>191</b> |
| АНАЛИЗ КОРПУСА ИСХОДНЫХ ТЕКСТОВ НА PYTHON С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ<br>СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ                                                                        |            |
| <b>Швыров В.В., Капустин Д.А., Шулика Т.И. -----</b>                                                                                                        | <b>196</b> |

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TO THE PROBLEM OF NEW ENERGETIC RESOURCES IN THE UNIVERCIAL TRANSPORT<br>Andreev A.A., Petrov A.G.-----                                                                         | 9  |
| THE IMPACT OF WORKLOAD AND DELIVERY RANGE ON THE PRODUCTIVITY AND<br>RESOURCE SAVING OF MI-8 MTV1 HELICOPTERS IN EMERGENCY SITUATIONS<br>Andreev A.A., Singeev A.V.-----        | 17 |
| TO THE PROBLEM OF TRAFFIC SAFETY OF DUMP TRUCK<br>Andreev A.A., Chigevskaya D.U., Petrov A.G., Vetertsovsky V.N.-----                                                           | 23 |
| NEW CLASSIFICATION OF LIFTING AND TRANSPORT EQUIPMENT FAILURES<br>Antipov I.V., Kostrub V.A., Kostrub O.M.-----                                                                 | 27 |
| ANALYSIS OF MODERN AIR CHILLERS<br>Bryantsev M.A., Danileychenko A.A., Dotsenko D.M.-----                                                                                       | 31 |
| DETERMINATION OF THE COST RECOVERY FOR INCREASING THE<br>WEAR RESISTANCE OF COMPRESSOR BLADES OF GASTURBINE ENGINES<br>Bykadorov V.V., Danileichenko A.A., Lyubchenko D.I.----- | 37 |
| INCREASE IN ACCURACY OF DETERMINATION OF SMOKE OF THE EXHAUST BY<br>AUTOMATION OF MEASUREMENTS<br>Vasilyev I.P., Grubich P.S., Batiyevsky I.S.-----                             | 41 |
| TECHNICAL RE-EQUIPMENT OF MAINLINE DIESEL LOCOMOTIVES<br>FOR OPERATION IN INDUSTRIAL ENTERPRISES<br>Dmitrienko A.B., Atroshenko D.V., Vitrenko S.N.-----                        | 46 |
| EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE HEIGHT OF THE AIR CUSHION OF<br>THE PNEUMATIC TRANSPORT DEVICE ON THE MAIN FACTORS<br>Zhizhkina N.A., Turusina N.V.-----            | 49 |
| THEORETICAL MODEL OF THE PROCESS OF RUNNING-IN OF<br>INVOLUTE SURFACES WITH ECMP GEARS<br>Zamota T.N., Bondarets O.A.-----                                                      | 53 |
| ANALYSIS OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC COSTS OF<br>OPERATING A CAR WITHIN THE LIFE CYCLE<br>Zamota T.N., Zamota O.N., Grinko E.T.-----                                          | 59 |
| CARRYING OUT CERTIFICATION AND TECHNICAL INSPECTION OF<br>VEHICLES TO INCREASE TRANSPORT SAFETY<br>Ivchenko T.B., Areshin A.A.-----                                             | 66 |
| INTEGRATION OF PRECISION ANALOG MEASURING EQUIPMENT<br>INTO A MODERN DIGITAL MEASURING COMPLEX<br>Kireev A.N., Dmitrienko A.B., Atroshenko D.V.-----                            | 70 |
| DIAGNOSTIC MODEL OF AN IMPROVED PROCESS OF ULTRASONIC<br>DIAGNOSTICS OF MACHINE PARTS AND UNITS<br>Kireev A.N., Kireeva M.A.-----                                               | 74 |
| ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF STEEL STRUCTURE OF<br>CANTILEVER TRUSS CRANE<br>Kostrub V.A., Miroshnikov A.A.-----                                                          | 81 |

---

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| MATHEMATICAL MODEL OF TRANSIENT PROCESSES IN THE IGNITION SYSTEM OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES<br>Krupica O.V. -----                                                                                                                                           | 85  |
| THE USE OF "GREEN" LOGISTICS TOOLS IN THE FORMATION OF TRANSPORT AND WAREHOUSE CHAINS<br>Lenich S.V., Nikishkin Yu.A.-----                                                                                                                                      | 92  |
| CALCULATION OF THE SCATTERING FIELD OF A LOCALLY MAGNETIZED SECTION OF A FERROMAGNETIC METAL WITH A TWO-LAYER STRUCTURE<br>Livtsov Yu.V., Kireev A.N., Bezkorovainyi V.S.-----                                                                                  | 97  |
| RESEARCH OF THE INFLUENCE OF FACTORS ON THE DURATION OF A PASSENGER'S WAITING AT A STOP POINT BY THE METHOD OF SIMULATION MODELING<br>Luchko M.I. -----                                                                                                         | 101 |
| EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF DYNAMIC DETERMINATION OF THE CONTOUR AREA OF THE WHEEL AND RAIL CONTACT BY CHANGING THE MAGNETIC PARAMETERS OF THE RAIL HEAD MATERIAL IN THE AREA OF THEIR FORCE INTERACTION<br>Malakhov O.V., Silyanov V.V.----- | 106 |
| IMPROVEMENT OF THE GAS GENERATOR PRODUCING GASEOUS FUEL FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES<br>Nechayev G., Chizhevskaya D., Nikitin Yu., Budikov L. -----                                                                                                          | 111 |
| ANALYSIS OF THE STATE OF OPERATION OF TRANSPORT HUBS AT CARGO STATIONS AND IN SEA PORTS<br>Nikishkin Yu.A., Dubasov A.V., Loshakov A.S. -----                                                                                                                   | 117 |
| IMPROVING THE EFFICIENCY OF VEHICLE OPERATION BY IMPROVING THE CONTROL SYSTEM OVER THE MAIN DIAGNOSTIC PARAMETERS<br>Panayotov K.K. -----                                                                                                                       | 124 |
| TRANSITION PROCESSES IN THE DRIVE OF MINE SUSPENDED MONORAIL LOCOMOTIVES ON ACCUMULATOR TRACTION<br>Ryabko K.A.-----                                                                                                                                            | 129 |
| INFORMATION PROCESSING IN A MOBILE DEVICE FOR DYNAMIC WEIGHING OF RAILWAY VEHICLES<br>Silyanov V.V., Kostyuchenko D.N., Malov V.A.-----                                                                                                                         | 135 |
| DETERMINATION OF A SET OF MEASURES TO REDUCE THE LEVEL OF NOISE POLLUTION OF THE ENVIRONMENT BY RAILWAY ROLLING STOCK BY SWOT ANALYSIS<br>Silyanov V.V., Malakhova V.V.-----                                                                                    | 138 |
| TO THE QUESTION OF SERVICE MAINTENANCE ELECTROMAGNETIC INJECTORS DISTRIBUTED GASOLINE INJECTION<br>Smetana S.A., Sidorchenko A.V.-----                                                                                                                          | 141 |
| CAUSES OF ORIGIN AND FEATURES OF DEVELOPMENT ACCIDENTS AT PIPELINE TRANSPORT FACILITIES<br>Tararychkin I.A., Anisimov V.N. -----                                                                                                                                | 146 |
| METHOD FOR CALCULATING RIGIDITY MATRICES IN ROD FINAL ELEMENTS<br>Tasang E.H., Ivanova E.I., Klyuev A.S., Mokshina O.V.-----                                                                                                                                    | 153 |

---

|                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| WEAR RESISTANCE OF PARTS OF TRACKED RUNNING GEAR<br>Shovkoplias A.V. -----                                                                                                                    | 160 |
| FORMATION OF THE ASSORTMENT POLICY OF A TRADING ENTERPRISE<br>AND ITS CONTENT<br>Gorbacheva E.V. -----                                                                                        | 164 |
| ACTIVITIES OF THE STATE EMERGENCY SERVICE IN THE LUGANSK REGION AT THE FIRST<br>STAGE OF THE CIVIL CONFLICT IN DONBASS (DECEMBER 2013 – JUNE 2014)<br>Drobot A.N. -----                       | 167 |
| ANALYSIS OF METHODS OF FERROSONDE CONTROL OF PARTS<br>Ilinsky. D.I. -----                                                                                                                     | 173 |
| A STUDY OF THE STABILITY OF THE EULER-CROMER METHOD ODE SOLUTION<br>Korsunov K.A., Lyshtvan E.Y., Kharchenko E.I., Chalenko A.V. -----                                                        | 176 |
| MODELING AND SCENARIO ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF ADAPTIVE<br>STRATEGIES OF AN ORGANIZATION FUNCTIONING UNDER UNCERTAINTY<br>(ON THE EXAMPLE OF LLC «SPA «YMZ»)<br>Myznikova M.A. ----- | 181 |
| ABOUT COURSE WORK IN THE PREPARATION OF STUDENTS OF<br>THE SPECIALTY "PHYSICS"<br>Kharchenko E.I., Chalenko A.V., Lyshtvan E.Y. -----                                                         | 187 |
| THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF THE METHOD OF INTELLIGENCE<br>MAPS IN THE STUDY OF THE DISCIPLINE "PHYSICS" AT THE UNIVERSITY<br>Chlenko A.V., Kharchenko E.I., Lyshtvan E.Y. -----           | 191 |
| ANALYSIS OF THE PYTHON DATASET USING STATISTICAL METHODS<br>Shvyrov V.V., Kapustin D.A., Shulika T.I. -----                                                                                   | 196 |

УДК 621.1

## ПРОБЛЕМА НОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Андреев А.А., Петров А.Г.

## TO THE PROBLEM OF NEW ENERGETIC RESOURCES IN THE UNIVERCIAL TRANSPORT

Andreev A.A., Petrov A.G.

*Переход к четвертой промышленной революции, обеспеченный бурным развитием техники, технологий и массовой автомобилизацией, сопровождается негативными процессами в экосистемах и приводит к изменению экономической парадигмы – циркулярной экономике в условиях участившихся чрезвычайных ситуаций.*

*Для снижения негативной нагрузки на окружающую среду необходимо сокращение потребления ресурсов при одновременном снижении роста отходов производства и потребления. Негативное воздействие твердых промышленных и бытовых отходов (ТПБО) на окружающую среду, приводящие к изменению климата, вызывает необходимость поиска решений для обеспечения комфортных условий жизнедеятельности населения.*

*Особенно повышается значение универсального транспорта в условиях участившихся чрезвычайных ситуаций в отдаленных районах и в военных кризисах при отсутствии доступа к обычным топливным ресурсам, а также использования автомобилей в качестве автономных источников электроэнергии, работающих на твердых видах местного топлива.*

*В статье приводится новая технология энергетического и ресурсосбережения на автомобильном транспорте путем использования твердых бытовых отходов в качестве альтернативного топлива для двигателей внутреннего сгорания.*

**Ключевые слова:** ресурсосбережение, твердые промышленные и бытовые отходы, двигатели внутреннего сгорания, газогенераторный газ, Индустрия 4.0.

**Введение.** Циркулярная экономика – новый тренд, основа «Четвертой промышленной революции», как было заявлено на Международном экономическом форуме в Давосе. «Индустрия 4.0» предполагает рациональное использование природных и технических ресурсов. В задачи государственного и административного управления экономикой страны входят максимально эффективное энергосбережение, ремонт вместо новой покупки и аренда вместо собственности, вторичная переработка всех отходов и получение из них новых товаров, сырья, энергии. Энергия из мусора в программах «Индустрии 4.0» является

важным фактором повышения экологической чистоты окружающей среды и качества жизни населения городов.

Четвертая промышленная революция в Европе происходит в условиях ускоренного роста количества автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, особенно дизельных, что привело к существенному ухудшению качества воздуха в городских агломерациях. Самое негативное воздействие на состояние воздушной среды оказывают выбросы в отработавших выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания, в том числе и использующих в качестве топлива природный газ, моно- и диоксидов азота.

По оценкам Европейской комиссии, загрязнение воздуха особенно критично в 26 городах 12 европейских стран, включая Барселону, Бильбао, Мадрид, Севилью и Валенсию в Испании. Ниже на рис. 1 представлено фото вида одного и того же квартала в Мадриде во время свободного проветривания воздушным потоком и в летних условиях при безветрии и смоге [1-4].



Рис. 1. Вид города при чистом воздухе и под смогом

**Актуальность проблемы.** Как показали проведенные исследования по переводу дизельного двигателя на природный газ, температура в камере сгорания при различных режимах достигает 1500 градусов и больше.

Анализ показал, что теоретическая температура сгорания смеси воздуха с природным газом в двигателе внутреннего сгорания достигает 2000 °С при коэффициенте  $a = 1,0$  избытка воздуха. Содержание токсичных оксидов азота NOx и оксида

углерода  $\text{CO}$  в  $1 \text{ м}^3$  выхлопных газов, выбрасываемых в самые нижние слои воздушной среды нахождения людей и транспортных средств, равно  $7,0 \text{ г/м}^3$  при  $3,0 \text{ г/м}^3$  углеводородов  $\text{CH}$  [5-7].

При коэффициенте  $a = 1,2$  избытка воздуха в смеси температура сгорания природного газа снижается до  $1600^\circ\text{C}$  и содержание оксидов азота повышается до  $7,8 \text{ г/м}^3$ , при снижении содержания оксида углерода – до  $0,3 \text{ г/м}^3$  и углеводородов – до  $2 \text{ г/м}^3$ .

При коэффициенте  $a = 1,5$  избытка воздуха в смеси с природным газом температура сгорания падает до  $1500^\circ\text{C}$ , а содержание углеводородов снижается до  $2 \text{ г/м}^3$ ; – оксидов азота снижается до  $1 \text{ г/м}^3$ ; – оксида углерода – до  $0,35 \text{ г/м}^3$  [8, 9].

Оксиды азота, обладая высокой токсичностью, способны образовывать еще более токсичные комплексы и играть существенную роль в образовании фотохимических рыжих туманов (смогов), что наблюдается во многих городах с развитой промышленностью (особенно в летнее время при малой продуваемости улиц и проспектов).

**Цель работы.** Наиболее важным мероприятием, направленным на снижение концентрации оксидов азота в любых устройствах для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива и двигателях внутреннего сгорания, является снижение температуры смеси в зоне горения.

**Методы достижения цели.** К наиболее важным направлениям снижения содержания оксидов азота в выхлопных газах большегрузных дизельных автомобилей можно отнести использование части глубоко охлажденных газов при двухступенчатом охлаждении до температуры  $+50$  град. для рециркуляции в системе питания двигателя. Это позволило на автомобилях SCANIA еще в 2007 году достичь стандартов Euro 5 без применения добавок мочевины [10].

В качестве перспективного направления может быть принято использование в качестве моторного топлива синтетического горючего газа на базе генераторного газа, получаемого из твердых промышленных и бытовых древесных отходов, в том числе и с добавлением содержащих полиэтилен, как на мобильных, так и в стационарных установках. На рис. 2 представлен общий вид газогенераторной установки, которая может иметь как стационарное, так и мобильное исполнение.

Газ в газогенераторе образуется в результате неполного сгорания твердого топлива из-за ограниченного доступа кислорода. Бункер газогенератора заполняют, к примеру, древесной стружкой, его нижнюю часть, начиная от камеры горения, заполняют углём, топливо поджигают. Газ проходит через систему очистки и охлаждения и по трубопроводам подводится к смесителю, где смешивается с воздухом, проходящим через воздухоочиститель.

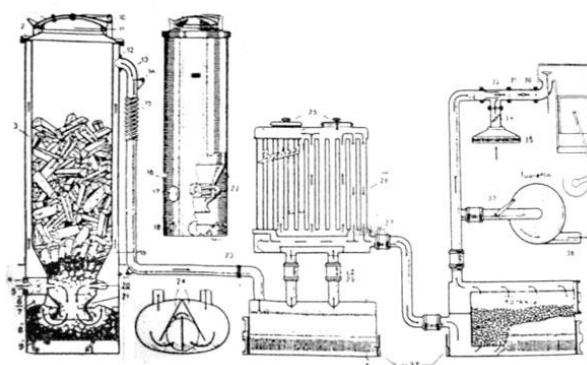


Рис. 2. Общий вид газогенераторной установки

Полученная газовоздушная смесь поступает по трубопроводу в цилиндры двигателя. Начавшаяся Вторая мировая война, «война моторов», как её назвали впоследствии, потребовала колоссального напряжения всех отраслей народного хозяйства, в том числе и нефтедобывающей. Причём львиная доля жидкого топлива (во всех воюющих странах, а не только в СССР) направлялась на нужды фронта, для обеспечения бронетанковых соединений, авиации, военно-морского флота, а для нужд тыла прекрасно подходили экономичные газогенераторные грузовики, тракторы, тягачи [11, 12].

Сегодня использование газогенераторов в СССР нередко преподносится как свидетельство «отсталости» и «бедности» советской промышленности. Между тем подобные силовые установки были гораздо больше распространены в Европе вообще и в Германии в частности, особенно после начала второй мировой войны [13, 14].

В 1936 году в Западной Европе насчитывалось около 10 тыс. газогенераторных автомобилей. С началом боевых действий их количество увеличилось более чем в 50 раз. Только в Германии таких автомобилей было почти 300 тыс., причём они использовались и в вермахте в качестве машин тылового обеспечения, и в военно-транспортных соединениях. На рис. 3 представлен вид автомобиля Volkswagen Type 82 с оппозитным двигателем воздушного охлаждения и газогенератором, работающем на дровах (1944 г.) [15].



Рис. 3. Автомобиль Volkswagen Type 82 с оппозитным двигателем и газогенератором

Согласно техническим характеристикам немецкий автомобиль «Жук», выпускаемый с 1933 года, имел четырехцилиндровый четырехтактный двигатель воздушного охлаждения с оппозитным расположением цилиндров в задней части, который имел рабочий объем 1131 см<sup>3</sup> и достигал мощности 25 л.с. при частоте вращения вала 3300 об/мин, а максимальный крутящий момент равен 53 НМ при 3000 об/мин. При степени сжатия 5,8:1 расход бензина с октановым числом 74 составлял 7,5 л на 100 км пробега, а содержание моно-оксида углерода СО при путевом контроле составляло 3,0% в выхлопных газах. Следует отметить, что работоспособность оценивалась отношением максимального крутящего момента к рабочему объему в л и составляла 4,7 НМ/л.

Кандидатом технических наук А.А. Андреевым и С.А. Андреевым в течение 1997-2001 годов проводились собственными силами научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по повышению экологического уровня и топливной экономичности автомобиля «Запорожец» ЗАЗ 968М-005 с V-образным четырехтактным четырехцилиндровым двигателем воздушного охлаждения (двигатель объемом 887 см<sup>3</sup> расположенным в задней части кузова).

По результатам опытных поездок при пробеге 20 тыс. м было найдено, что мощность обычного двигателя МеМЗ-966Г 28 л.с. достигалась при частоте вращения вала 4300 об/мин, а максимальный крутящий момент составлял 53 НМ при частоте вращения вала 2700 об/мин.

На рис. 4. показаны зависимости крутящих моментов двигателей внутреннего сгорания воздушного охлаждения Ме (НМ/л) от частоты вращения вала  $n \times 0,01$  (об/мин) (выделено крутым восхождением расчетные значения для двигателя МеМЗ-966Г после модернизации по собственной технологии). Две наивысших линии соответствуют зависимостям крутящих моментов шестицилиндровых оппозитных двигателей воздушного охлаждения рабочим объемом более 3000 см<sup>3</sup> автомобилей «Porsche-911» (Германия, 1996 г.)

Коэффициент приспособляемости обычного двигателя равен отношению максимального крутящего момента на валу к моменту при максимальной мощности:  $K_{мо} = M_{макс} / M_{ном} = 53 \text{ Нм} / 48 \text{ Нм} = 1,10$ . Это вызывает необходимость частого переключения ступеней коробки передач при изменении условий движения, в частности при переходе автомобиля на участки дорог с увеличенным подъемом пути.

При степени сжатия 6,5:1 работа на бензине с октановым числом 72 отличалась средним расходом 9,2 л на 100 км пробега. Содержание моно-оксида углерода СО в выхлопных газах при путевом контроле в пунктах ГАИ регистрировалась на уровне 3,0%. Работоспособность обычного двигателя МеМЗ-966Г, определяемая отношением

максимального крутящего момента к рабочему объему двигателя, равнялась величине 61 НМ/л [15]. Ниже представлены технические данные объектов проведенного исследования с учетом данных других отечественных двигателей, которые нашли широкое распространение на территории СНГ.

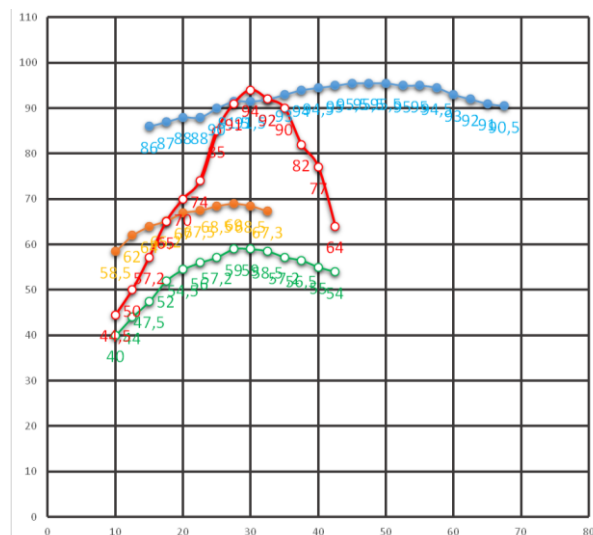


Рис. 4. Зависимости крутящих моментов двигателей внутреннего сгорания воздушного охлаждения Ме (НМ/л) от частоты вращения вала  $n \times 0,01$  (об/мин):

— M/V, N/m/ltr, Porche 911, Germane — M/V, N/m/ltr, Volkswagen Kever, Germane  
— M/V, N/m/ltr, Zaz 968M-005, USSR — M/V, N/m/ltr, Zaz 968M-005A Ukraine

Четырехтактные дизельные двигатели воздушного охлаждения Д144, выпускаемые Липецким тракторным заводом с 1947 года, нашли широкое применение на транспортно-технологических машинах большой номенклатуры, в том числе на:

- тракторах Т-40М, ЛТЗ-55, Т28Х4М;
- автопогрузчиках 4014Д, 40811, 40261, 40271, 40816;
- катках дорожных ДУ-63-1, ДУ-93, ДУ-47Б, ДУ-94;
- асфальтоукладчиках ДС-143, ДС-155;
- автобетоносмесителях СБ-92-В1, СБ-172-1;
- компрессорных станциях типа ЗИФ и ПКСД;
- сварочных агрегатах типа АДД;
- электростанциях АД-16-Т400-1ВП, ЭД-16-400-1ВП;
- путевых машинах ПРМ и МСШУ.

Важной народно-хозяйственной задачей становится всемерное снижение себестоимости эксплуатации транспортно-технологических машин, в частности за счет экономии топлива.

Повышение топливной экономичности мощности и экологического уровня новых и эксплуатирующихся транспортно-технологических машин с дизельными двигателями воздушного охлаждения Д144 играет большую роль в снижении затрат на энергоносители в различных

производственных процессах, особенно в отдаленных районах страны при ограниченных бюджетных возможностях на местах, и представляет определенный интерес для государственного управления.

На основе анализов результатов опытно-экспериментальной эксплуатации автомобиля на рис. 4 представлены графики динамического фактора до и после модернизации двигателя MeM3966Г. Опытные поездки показали:

- до модернизации автомобиль ЗА3968М-005 массой 1000 кг преодолевал подъемы 12% на второй передаче с равномерной скоростью 40 км/ч при частоте вращения вала двигателя 4300 об/мин;
- после модернизации стал преодолевать подъем 12% со скоростью 50 км/ч на третьей передаче при частоте вращения вала двигателя 2950 об/мин с уменьшенным потреблением топлива в 1,5 раза.

Зафиксировано, что подъемы в 7% автомобиль ЗА396М-005 с обычным двигателем MeM3966Г преодолевал на второй передаче со скоростью 40 км/ч при частоте вращения вала 4300 об/мин, а после модернизации тот же автомобиль стал преодолевать эти подъемы на четвертой передаче со скоростью 70 км/ч при частоте вращения вала 3000 об/мин и коэффициент приемистости увеличился до  $K_{мп} = 1,43$ , что приблизилось к значениям характеристик дизельного двигателя Д-144 с воздушным охлаждением.

На рис. 5 представлены зависимости динамического фактора автомобиля ЗА3-968М-005 (обычного и модернизированного) от скорости движения (по результатам опытных поездок).

В целом на поездки за счет практической реализации движения автомобиля на повышенных передачах удалось уменьшить средний путевой

расход топлива на 30% и более при прочих одинаковых условиях эксплуатации.

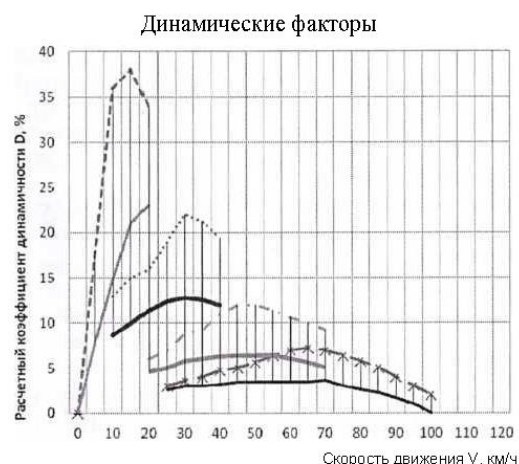


Рис. 5. Зависимость динамического фактора автомобиля ЗА3-968М-005 от скорости движения (по результатам опытных поездок):

----- после модернизации; — обычный вариант

----- MeM3966ГA887A1      MeM3 966ГA887AII  
 - \* - MeM3 966ГA887A HI      —> MeM3966ГA837A1Y  
 ----- MeM3 966Г887B I      ' ■ MeM3 966Г 887BII  
 ————— MeM3 966Г887B III      MeM3 966Г887B1Y

Особый интерес представляют сравнительные технические характеристики двигателей воздушного охлаждения (табл. 1):

- автомобилей «VOLKSWAGTN\_KAFER VW 82» (Dr. Ing. h. c. F. PORSCHE);
- автомобилей «ЗАПОРОЖЕЦ» ЗА3 968М-005 (до и после модернизации в 1997 году);
- трактора типа Т-40М с двигателем Д-144.

Таблица 1

Сравнительные технические характеристики двигателей воздушного охлаждения

| № п/п | Показатель                                            | VOLKSWAGTN_KAFER VW 82 |          | ЗА3 968М-005 |         | Трактор Т-40М |
|-------|-------------------------------------------------------|------------------------|----------|--------------|---------|---------------|
|       |                                                       | Германия               |          | СССР         | Украина | СССР          |
| 1     | Страна                                                |                        |          |              |         |               |
| 2     | Год выпуска                                           | 1943                   | 1963     | 1968         | 1997    | 1947          |
| 3     | Мощность л/с                                          | 25                     | 90       | 28           | 39,5    | 37            |
| 4     | Обороты/мин                                           | 3300                   | 5500     | 4300         | 4300    | 1500          |
| 5     | Диаметр цилиндра, мм                                  | 75                     | 82,5     | 72           | 72      | 105           |
| 6     | Ход поршня, мм                                        | 64                     | 74       | 54,5         | 54,5    | 120           |
| 7     | Число и расположение цилиндров                        | 4 опп                  | 4 опп    | 4 v          | 4 v     | 4 p           |
| 8     | Рабочий объем, л                                      | 1,131                  | 1,582    | 0,887        | 0,887   | 4,15          |
| 9     | Степень сжатия                                        | 5,8:1                  | 9,0:1    | 6,5:1        | 6,5:1   | 16,5:1        |
| 10    | Максимальный крутящий момент, Нм/об./мин              | 56/3300                | 123/4300 | 53/2700      | 83/2900 | 192/900       |
| 11    | Работоспособность (литр. крутящий момент), Нм/литр    | 49,5                   | 78,5     | 59,5         | 93,5    | 46,3          |
| 12    | Масса двигателя, кг                                   | 96                     | 130      | 52           | 52      | 375           |
| 13    | Удельная масса двигателя, кг/лс                       | 3,82                   | 1,43     | 1,86         | 1,33    | 10,2          |
| 14    | Топливо: бензин (октан)                               | A74                    | A92      | A72          | A76     | ДТ            |
| 15    | Вес полный транспорта, кг                             | 11,05                  | 11,05    | 11,20        | 11,20   | 25,00         |
| 16    | Скорость макс., км/ч                                  | 100                    | 150      | 102          | 102     | 27            |
| 17    | Расход топлива, л/100 км                              | 7,5                    | 10       | 9,2          | 6,5     | 25/ч          |
| 18    | Содержание СО в выхлопных газах (путевой контроль, %) | 3,0                    | 3,0      | 3,0          | 0,3-1,5 | 0,5-1,0       |

Удельный литровый максимальный крутящий момент двигателя МемЗ-966Г 94 НМ/л увеличился в 1,77 раза и приблизился к уровню показателя автомобиля «PORSHE 911» с шестицилиндровым оппозитным двигателем.

Как показала многолетняя эксплуатация, за счет реализованного форсирования двигателя средний расход топлива уменьшился до 6,5 л на 100 км, а содержание моно-оксида углерода CO в выхлопных газах при путевом контроле стало в пределах 0,3-1,5% при прочих равных условиях эксплуатации. Максимальная мощность 39,5 л.с. достигнута при частоте вращения вала 4300 об/мин, т.е. увеличилась в 1,41 раза [15, 17, 18].

Таким образом, при снижении потребления топлива, а значит, и теплового загрязнения окружающей среды в 1,5 раза, одновременно снизился уровень выбросов CO в 2-10 раз на различных режимах работы двигателя МемЗ-966Г. Наиболее эффективными по топливной экономичности оказались режимы работы двигателя на частичных нагрузках при прикрытых положениях дроссельной заслонки карбюратора, что сопровождалось очень глубоким расширением отработавших в цилиндрах газов и снижением их температуры, с чем частично и связано низкое содержание моно-оксида азота на холостых оборотах.

Существенным недостатком применения технологии перевода автомобилей с обычными бензиновыми двигателями на генераторный газ, получаемый из древесных топлив, является неминуемое падение крутящего момента на выходном валу и мощности на 30-40% при прочих равных условиях эксплуатации, что приводило к потере скорости движения и фактической грузоподъемности при перевозке грузов и пассажиров.

В то же время, этот недостаток компенсируется способностью выполнения транспортной работы автомобилями с модернизированными двигателями по собственной технологии «KNOW NOW» и переведенными на генераторный газ при отсутствии жидких моторных топлив.

Известен опыт установки на обычном автомобиле «ЗАПОРОЖЕЦ» или ЛуАЗ с двигателями МЕМЗ-969 Мелитопольского моторного завода воздушного охлаждения дополнительного электрогенератора переменного тока 58.3701 (рис. 6), который может быть использован в домохозяйстве при отсутствии внешних источников электрической энергии [24]. Представляется целесообразным разработку малого переносного газогенератора, работающего на твердых топливах, содержащих древесину и полиэтилен для получения горячего газа для стандартных мобильных автономных мотор-генераторов.

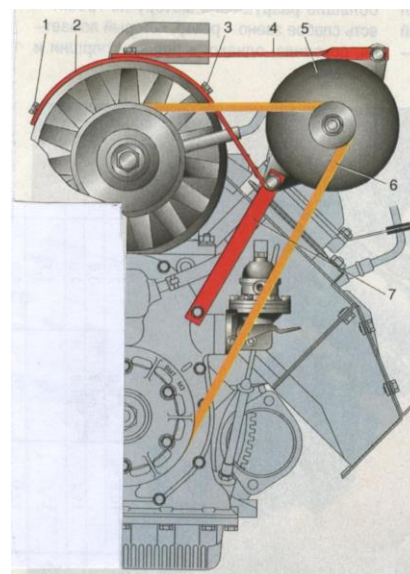


Рис. 6. Установка генератора 58.3701 на двигатель МемЗ-969:

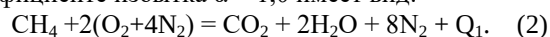
1, 3 – болт М8; 2 – скоба; 4 – натяжитель; 5 – генератор; 6 – ремень; 7 – растяжка

**Результаты исследований.** Ниже изложены основы упрощенного обоснования способов улучшения газогенераторных процессов при использовании различных видов твердого топлива на базе основ теплотехники [21].

Теплота сгорания широкого круга органических веществ зависит от элементарного состава в % и хорошо определяется формулой Д.И. Менделеева:

$$Q_i = 0,34C + 1,03H - 0,11(O - S) - 0,025W, \text{ МДж/кг. (1)}$$

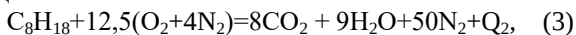
Примерное стехиометрическое уравнение сгорания метана в смеси с воздухом в двигателе при коэффициенте избытка  $\alpha = 1,0$  имеет вид:



Известно из теплотехники, что при «сжигании»  $1\text{ м}^3$  воздуха и сгорании органического топлива выделяется 3,8 МДж теплоты, а при сгорании метана по представленной формуле выделится теплота в объеме 860 МДж, что эквивалентно теплотворной способности природного газа на уровне  $Q_n = 38 \text{ МДж/м}^3$ .

Для сравнительных расчетов изменения процессов перевода автомобильного двигателя на смешанные виды топлива принималась примерная формула бензина по типу изооктана  $C_8H_{18}$  с удельной плотностью  $692 \text{ кг/м}^3$  и теплотворной способностью 44 МДж/кг.

Примерное стехиометрическое уравнение сгорания бензина  $C_8H_{18}$  в смеси с воздухом в двигателе при коэффициенте избытка  $\alpha = 1,0$  имеет вид:

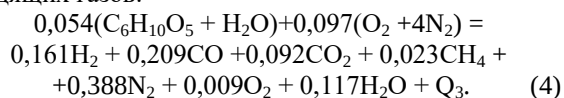


где расчетная величина выделившейся теплоты составит  $Q_2 = 5310 \text{ МДж}$  на 114 кг бензина при нагреве общей массы сгоревших газов 1914 кг

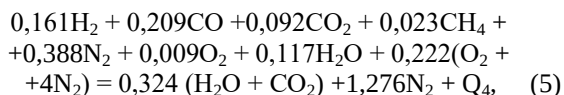
примерно на 2770 градусов при средней теплоемкости процесса 1 МДж/кг град.

После окончания процесса выпуска температура отработавших газов опускается до 700-900 градусов при поступлении в систему глушителя, что наблюдалось в реальных условиях эксплуатации форсированного двигателя МеМЗ-966Г.

Примерный процесс получения генераторного газа из древесных отходов влажностью 10% (заключается в подаче в реакционную зону обычного газогенератора воздуха) может быть представлен формулой, адаптированной с парциальными составными объемными частями входящих газов:



Примерное стехиометрическое уравнение сгорания генераторного газа в смеси с воздухом в двигателе при коэффициенте избытка  $\alpha = 1,0$  имеет вид:



где расчетная величина выделившейся теплоты составит  $Q_4 = 95$  МДж на 9,7 кг древесных отходов и нагреве общей массы сгоревших газов 55,7 кг примерно на 1590 градусов при средней теплоемкости процесса 1 МДж/кг\*град.

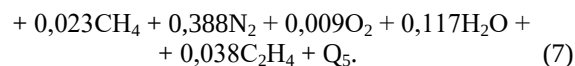
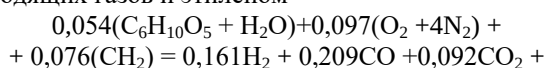
Согласно теории двигателей внутреннего сгорания, на реализацию полезного крутящего момента на валу двигателя расходуется примерно половина выделившейся теплоты и температура газов в цилиндрах перед открытием выпускных клапанов снизится до 795 градусов и ниже с учетом тепловых потерь в стенки охлаждаемых цилиндров, поршня и камеры сгорания. После окончания процесса выпуска температура отработавших газов опускается до 350-450 градусов при поступлении в систему глушителя и нейтрализатора.

Расчетная теплотворная способность древесных отходов при переработке на генераторный газ в обычном газогенераторе составит

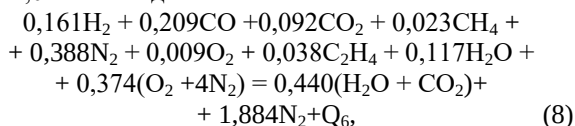
$$Q_{ггн} = 95 / 9,7 = 9,85 \text{ МДж/кг}. \quad (6)$$

В опубликованных работах [21-23] приводится обоснование возможности использования в качестве альтернативного топлива смеси древесных и полиэтиленовых отходов для генерации горючего газа.

Примерный процесс получения генераторного газа из смеси 90% твердых бытовых отходов древесных отходов влажностью 10% и 10% отходов полиэтилена (заключается в подаче в реакционную зону обычного газогенератора воздуха) может быть представлен формулой, адаптированной с парциальными составными объемными частями входящих газов и этиленом



Примерное стехиометрическое уравнение сгорания нового генераторного газа в смеси с воздухом в двигателе при коэффициенте избытка  $\alpha = 1,0$  имеет вид:



где расчетная величина выделившейся теплоты составит  $Q_6 = 160$  МДж на 10,77 кг смеси 90% древесных отходов и 10% отходов полиэтилен и нагреве общей массы сгоревших газов 85 кг примерно на 1880 градусов при средней теплоемкости процесса 1 МДж/кг град.

Согласно теории двигателей внутреннего сгорания, на реализацию полезного крутящего момента на валу двигателя расходуется примерно половина выделившейся теплоты и температура газов в цилиндрах перед открытием выпускных клапанов снизится до 940 градусов и ниже с учетом тепловых потерь в стенки охлаждаемых цилиндров, поршня и камеры сгорания. После окончания процесса выпуска температура отработавших газов опускается до 380-490 градусов при поступлении в систему глушителя и нейтрализатора.

Расчетная теплотворная способность смеси из 90% древесных отходов и 10% отходов полиэтилена при переработке на генераторный газ в обычном газогенераторе составит

$$Q_{ггн} = 160 / 10,77 = 14,7 \text{ МДж/кг}. \quad (9)$$

Представляет интерес оценка изменения технико-экономических показателей конвертирования автомобилей с жидкого моторного топлива на смешанное энергопотребление жидкого топлива и генераторного газа.

В качестве базового можно принять вариант использования для работы автотранспорта 114 кг бензина для получения теплоты 5310 МДж.

Для варианта 1 автомобиля со смешанным потреблением топлива – 28,3 кг бензина и генераторного газа, полученного из древесных отходов, требуемую массу древесных отходов можно определить из условия получения теплоты в объеме, равном разности общей теплоты и теплоты, приходящейся на выработку бензиновой частью:

$$5310 - 1335 = 4005 \text{ МДж}.$$

Тогда расчетная требуемая масса древесных отходов составит:

$$m_{др} = Q_{др} / Q_{ггн} = 4005 / 9,85 = 420 \text{ кг}. \quad (10)$$

Для второго варианта использования при генерации газа из смеси 90% древесных отходов и 10% отходов полиэтилена потребует общая масса:

$$M_{дрп} = 4005 / 14,7 = 278 \text{ кг}, \quad (11)$$

из которых 251 кг древесных отходов и 27 кг отходов полиэтилена.

Если для базового варианта при цене 1 л топлива 50 руб. потребуется затраты на топливо 8250 руб., то для варианта 1 смешанного

потребления 28,3 кг бензина на 2062 руб. и древесных отходов при цене 3 руб/кг на 1260 руб. и в сумме 3322 руб., т.е. в 2,48 раза меньше.

Для варианта 2 потребуется смеси из древесных и отходов полиэтилена на 890 руб. и в сумме – 2952 руб., т.е. по сравнению с бензином в 2,78 раза меньше.

**Выводы.** 1. Использование газогенераторов, потребляющих твердые отходы древесного происхождения и полиэтилен содержащих, в качестве регенераторного источника энергоносителя при рециркуляции отработавших газов будет способствовать снижению температуры сгорания топливно-воздушной смеси в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания и снижения уровня выбросов оксида азота и углерода в отработавших газах.

2. Применение технологии форсирования двигателей типа ЗМЗ-53, МеМЗ-966Г, Volkswagen Type82, Д144 позволит при установке газогенераторов, работающих на твердых отходах, компенсировать потери их динамичности и сохранить характеристики автомобилей и тракторов.

3. Модернизированные транспортные единицы, имеющие газогенераторы, расширяют сферу применения и технико-экономические показатели автономных энергетических систем, эксплуатирующихся в отдаленных районах и потребляющих местные виды топлива и твердые отходы местного производства и жизнедеятельности.

4. Модернизация двигателей может быть выполнена в местах эксплуатации транспортно-технологических машин в условиях мастерских и станций технического обслуживания.

5. Установка газогенераторных установок позволит снизить потребление жидких моторных топлив за счет использования местного твердого топлива и твердых полиэтиленовых отходов.

6. Затраты на топливо для транспортных средств при дополнительных инвестициях в модернизацию двигателей и газогенераторных установок могут быть уменьшены в 2-3 раза.

### Л и т е р а т у р а

1. «Индустрия 4.0»: идеальная экономика: Портал об энергетике в России и в мире. URL: [peretok.ru/articles/innovations/12057/](http://peretok.ru/articles/innovations/12057/)
2. Digital Transformation Monitor, Germany: Industrie 4.0, January 2017 Web page: <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/>
3. Securing the future of German manufacturing industry, Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Final report of the Industrie 4.0 Working Group, April 2013.
4. Power Technology and Engineering, Vol. 46, No. 3, September, 2012, BURNING OF VOLATILES IN FLUIDIZED BED COMBUSTION OF SOLID FUELS V. A. Munts,1 E. Yu. Pavlyuk,1 M. V. Kryukov,1 and A. V. Savkin1 Translated from *Élektricheskie Stantsii*, No. 3, March 2012, pp. 16-22.
5. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. 2-е изд.,

перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 376 с.

6. Грицук И.В., Вербовский В.С., Черняк Ю.В., Прилепский Ю.В. Уменьшение токсичности отработавших газов конвертированного газодизельного двигателя для использования его в стационарной энергетической установке // *Збірник наукових праць ДонІЗТ*. – 2011. – № 25.

7. Экологические аспекты применения моторных топлив на транспорте / В.Ф. Кутенев, В.А. Звонов, В.И. Черных и др. // *Автомобильные и тракторные двигатели: Межвуз. Сб.* – М.: Изд-во ТУ МАМИ, 1998. – Вып. 14. – С. 150-160.

8. Захарчук В.И., Ситовский О.Ф., Захарчук О.В. Улучшение эксплуатационных свойств газового двигателя, конвертированного с дизеля // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. – 2006. – № 7 (101). – С. 143-147.

9. Лапшин Ф. Euro 5 и никакой мочевины // *Авто РЕВЬЮ*. – №19. – 2007. – С. 84-86.

10. Токарев Г.Г. Газогенераторные автомобили. – Машгиз, 1955. – 205 с.

11. Юдушкин Н.Г. Генераторные тракторы. Государственное научно-техническое издание машиностроительной литературы, 1955. – 242 с.

12. Самылин А.А. Настольный справочник конструктора газогенераторных установок / А.А. Самылин, Н.М. Цивенкова. – ДАУ Житомир, 2007. – 555 с.

13. Киприянов Ф.А. Исследование работы газогенератора // *Современные научные исследования и инновации*. – 2016. – № 1 (57). – С. 146-152.

14. LEICHTER PERSONEN-KRAFTWAGEN TYP82 BESCHREIBUNG BEDIENUNGSANWEISUNG INSTANDSETZUNGSANLEITUNG / Volkswagenwerk G. m. b. H. Kundendienst, 1943. – 23 p.

15. Андреев А.А., Андреев С.А. Силовые агрегаты автомобилей «Volkswagen Kafer «VW 82» (Dr. Ing. h. c. F. PORSCHE) и «Запорожец» ЗА3-968М-005: особенности и перспективы // *Вісник СНУ ім. В. Даля*. – Луганськ, 2004. – № 7 (77), Ч. 2. – С. 53-56.

16. Патрахальцев Н.Н., Савастенко А.А. Форсирование двигателей внутреннего сгорания наддувом. – М.: Легион-Автодата, 2005. – 176 с.

17. Андреев А.А., Андреев С.А. К вопросу о повышении топливной экономичности эксплуатирующихся автомобилей ЗА3-068М-005 // *Вісник СНУ ім. В. Даля*. – Луганськ, 2006. – № 7 (101), Ч. 1. – С. 210-212.

18. Андреев А.А., Андреев С.А. Потенциальные возможности конвертирования и форсирования эксплуатирующихся автомобилей // *Вісник СНУ ім. В. Даля*. – Луганськ, 2012. – № 4 (175). – С. 28-35.

19. Андреев А.А., Андреев С.А. О повышении эффективности газогенераторных автомобилей // *Вісник СНУ ім. В. Даля*. – Луганськ, 2013. – № 9 (198). – С. 17-23.

20. Теплотехника: Учеб. для вузов / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт и др.; Под ред. А.П. Баскакова. – Изд. 2-е., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.

21. Prospects for development of green technologies for producing alternative energy resources / Irina Makarova (Kazan Federal University), Larisa Gubacheva (Vladimir Dahl Lugansk National University), Aleksander Andreev (Vladimir Dahl Lugansk National University), Darya Shevchenko (Vladimir Dahl Lugansk National University), Sergey Andreev (Kyiv State Telecommunication University) // *Materials of XV Russian Chinese Symposium Advanced Materials and Processes (October 16-19). Sochi*. P. 5.

22. Prospects for development of green technologies for producing alternative energy resources / Irina Makarova (Kazan Federal University), Larisa Gubacheva (Vladimir Dahl Lugansk National University), Aleksander Andreev (Vladimir Dahl Lugansk National University), Darya Shevchenko (Vladimir Dahl Lugansk National University), Sergey Andreev (Kyiv State Telecommunication University) // Materials of XV Russian Chinese Symposium Advanced Materials and Processes // IOP Publishing Journal of Physics Conference Series 1347 (2019) 012094. P. 1-9.

23. Alternative power resources in the motor vehicles supply / Irina Makarova (Kazan Federal University), Larisa Gubacheva (Vladimir Dahl Lugansk National University), Aleksander Andreev (Vladimir Dahl Lugansk National University), Sergey Andreev (Kyiv State Telecommunication University) // «International Scientific Conference Interstroyteh 2019». ISM 2019 IOP Cjnf Series Materials Science and Engineering 786 (2020) 012074 P. 1-7.

24. Воробьев-Обухов А. На «ЗАПОРОЖЦЕ» – мощный генератор // «ЗА РУЛЕМ». – 12/97. – С. 164-165.

**Andreev A.A., Petrov A.G.**

#### **TO THE PROBLEM OF NEW ENERGETIC RESOURCES IN THE UNIVERCIAL TRANSPORT**

*The transition to "green technology" is caused by the negative action of human life on the environment. "Green technologies" are environmentally friendly for human health. To reduce the negative burden on the environment, it is necessary to decrease the consumption of resources while reducing the growth of production and consumption waste. The negative impact of municipal solid waste (MSW) on the environment leads to climatic change, increases the greenhouse effect and the number of natural hazards. These facts necessitate the search for solutions to reduce harmful emissions into the atmosphere, to increase fuel efficiency, as well as energy efficiency, for example, transport systems, by improving the technology for producing the generator gas as an alternative fuel. The article discusses technologies to reduce the concentration of nitrogen oxides in any device for*

*burning solid, liquid and gaseous fuels in internal combustion engines.*

*The issues of resource saving for the processing of solid domestic waste (MSW), sorting of wood-containing and polyethylene-containing waste for the production of motor gaseous fuel in the gas generator are considered. The negative impact of MSW on the environment, leading to climate change, is aimed at finding solutions to ensure comfortable living conditions and daily activities. The rapid development of technology and technology related to the fourth industrial revolution.*

**Key words:** resource saving, municipal solid waste, sorting, processing, generation gas, Industry 4.0.

**Андреев Александр Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», почетный профессор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**Andreev Aleksander**, Candidate of Sciences in Engineering, Professor of Department of Transports Technology, SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

**Petrov Aleksander**, Senior Lector of Department of Transports Technology, SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

*Статья подана 01.03.2022*

УДК 621.6:629.07

## ВЛИЯНИЕ ЗАГРУЖЕННОСТИ И ДАЛЬНОСТИ ПОСТАВОК НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ВЕРТОЛЁТОВ МИ-8 МТВ1 В ЧС

Андреев А.А., Сингеев А.В.

## THE IMPACT OF WORKLOAD AND DELIVERY RANGE ON THE PRODUCTIVITY AND RESOURCE SAVING OF MI-8 MTV1 HELICOPTERS IN EMERGENCY SITUATIONS

Andreev A.A., Singeev A.V.

*Статья посвящена ресурсосбережению дорогостоящих материальных средств, авиационной техники, увеличению эффективности использования С и ПВ Ми-8 МТВ1, сохранению моторесурса, оптимизации процесса устранения ЧС, снижению размеров ущерба при ликвидации пожара и исследованию влияния загруженности и дальности поставок на производительность вертолёт. Ещё один из главных аспектов в статье посвящён отработке и усовершенствованию методики определения необходимого (оптимального) количества запрашиваемого топлива, а также загрузке других грузов (воды для пожаротушения и т.д.) для определения оптимальной взлётной массы спасательного противопожарного вертолёт МЧС в момент вылета из ВХ или авиабазы на устранение ЧС. Внедрение предлагаемой методики окажет неоценимую помощь экипажам спасательных противопожарных вертолёт в различных сложных условиях (задымление, удалённость, труднодоступность, отсутствие посадочных площадок и т.д.) выполнения полётного задания с учётом цейтнота. Оптимизация процесса применения указанных рекомендаций позволит сэкономить драгоценное время на принятие решения при определении возможной загрузки средствами пожаротушения АТ, спецоборудованием, топливом, взрывчаткой и т.д., в зависимости от поставленной в период ЧС задачи.*

**Ключевые слова:** ресурсосбережение, моторесурс, производительность, авиационная техника, специальная техника, вертолётные хабы, авиабаза, летательные аппараты, спасательный противопожарный вертолёт, МЧС, пожаротушение, паводок, чрезвычайная ситуация.

**Введение.** Важнейшим направлением развития и применения транспортных технологий в ЧС является ресурсосбережение материальных средств, сохранение моторесурса спасательных противопожарных вертолёт, снижение размеров ущерба при ликвидации ЧС и зависимости дальности поставок и производительности от загруженности вертолёт.

Прогрессом в научной статье выступает усовершенствование и создание новых методов оптимизации в использовании авиационной и СТ при устранении ЧС в отдалённых и труднодоступных районах, уменьшение временных затрат, упрощения и ускорения обработки информации и расчётов при загрузке в вертолёт средств пожаротушения или других грузов, а также зависимости дальности поставок и производительности от загруженности вертолёт.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследования в области ЧС показали, что всего за 9 месяцев 2021 года произошёл существенный рост ЧС. Природные пожары и паводки в этом году отличались масштабностью. Так, на территории страны зарегистрировано 314 461 пожар, более 15 тыс. природных пожаров на площади свыше 10 млн га. На которых погибло 5 900 человек, в том числе 275 несовершеннолетних, получили травмы 6 301 человек. Зарегистрированный материальный ущерб составляет 9,2 млрд рублей. На пожарах спасено 162 951 человек (АППГ – 134 820, 20,9%), в том числе эвакуировано 135 736 человек (АППГ – 110 562, 22,8%). При этом режим ЧС в лесах муниципального характера вводился 68 раз в 23 субъектах Российской Федерации, регионального характера – в 8 субъектах и межрегионального – в 5-ти. Летом 2021 года от ведомства МЧС к работам было привлечено почти 50 тыс. человек и 11 тыс. единиц техники. Кроме того, 38 воздушных судов ведомственной авиации совершили почти 2 тыс. вылетов, выполнив порядка 6 тыс. сбросов воды общим объемом около 32 тыс. тонн. Сложная ситуация складывалась с паводками. Всего в паводкоопасный период этого года в 63 субъектах Российской Федерации подтапливались территории 622 населенных пунктов. В зоне затопления оказались свыше 10,5 тыс. жилых и дачных домов, более 36 тыс. приусадебных участков, около 1000

объектов дорожной инфраструктуры. В частности, произведено более 900 подрывов для ослабления льда, распилено 380 км и зачернено более 20 км льда, что сократило сроки выхода Северных рек в пойму.

Важно, что созданный Федеральный межрегиональный лесопожарный центр "Север на базе подведомственного Рослесхозу ФБУ "Авиалесоохрана", разместившийся в крупных лесных регионах: Красноярском крае, Иркутской области и Забайкалье, приступил к работе по ликвидации ЧС в труднодоступных и отдалённых районах РФ. Вертолёты С и ПВ Ми-8 МТВ1, самолёты и дополнительное транспортно-технологическое оборудование, специальный транспорт применяются в тушении лесных и других видах пожаров в отдалённых труднодоступных районах, эвакуации людей и ценного имущества и т.д. В 2021 году только ямальскими силами МЧС спасено 168 человек и материальных ценностей на сумму более 6 миллиардов рублей. В масштабах страны цифры значительно более впечатляющие [4, 5].

Пожарная обстановка в мире остаётся напряжённой. Так США, Латинская Америка, Австралия, Турция, Греция, Италия, Испания, Сербия, Болгария и ряд других стран понесли большой ущерб от ЧС в 2021 году.

По данным NIFC, в 2021 году в США произошло 37 803 пожара, которые сожгли более 3 миллионов акров земли. За тот же период в 2020 году 32 059 пожаров сожгли 2,1 миллиона акров земли. Айдахо – штат с наибольшим количеством крупных пожаров – 23. Тем не менее больше всего сожжено акров в Орегоне: 554587 акров из 11 пожаров. Лесные пожары затрагивают не только материковую часть США. Пожар на Манароуд на северной стороне Большого острова Гавайев привел к эвакуации более 7000 человек [4, 5].

Проведение таких исследований представляет практическую ценность и научный интерес.

**Цель исследования.** Исследование проводилось в первую очередь с целью достижения ресурсосбережения и снижения размеров ущерба, причинённого пожарами (паводками, землетрясениями, вулканическими извержениями, техногенными катастрофами и т.д.), ещё оптимизации процесса устранения ЧС, сохранения моторесурса спасательных противопожарных вертолётов, снижения времени реагирования на принятие решения при загрузке АТ в процессе ликвидации пожаров средствами пожаротушения и др. Поиск новых возможностей в применении АТ и СТ для ликвидации ЧС и их последствий при определении зависимости загруженности и дальности поставок на производительность вертолёт. Следующей за экономической составляющей научных исследований в нашей статье идёт экологическая, а именно применение предложенной модели для максимальной

сохранности уникальной окружающей среды от воздействий ЧС (пожаров и т.д.).

#### **Материалы и результаты исследования.**

Методы решения и усовершенствования рассматриваемой проблемы ресурсосбережения, представления оптимизации процессов применения имеющихся в арсенале спасательных средств, увеличение моторесурса вертолёт и специальной техники, снижение размеров ущерба при ликвидации ЧС и зависимости загруженности и дальности поставок на производительность вертолёт С и ПВ Ми-8 МТВ1 лежат в плоскости сокращения времени на определение варианта и объёма загрузки ЛА с помощью предварительно подготовленных расчётов и таблиц при заборе воды из водоёма или других резервуаров.

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» [3], был проведен сбор информации, обзор, анализ и исследование в области ресурсосберегающей эксплуатации С и ПВ Ми-8 МТВ1 и современного специального автотранспорта России при взаимодействии АТ и СТ в ликвидации ЧС. Представлен маршрут движения АТ и НТ в отдалённых районах РФ. Были произведены расчёты расхода горючего Ми-8 МТВ1 на различных режимах работы (набор высоты, прямолинейный полёт, спуск, маятниковый режим) непосредственно с авиабазы и с ВХ.

Обозначения, используемые в статье:

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

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

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

– С и ПВ МЧС (спасательные и пожарные вертолёты МЧС) – спасательные и пожарные вертолёты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) – федеральное



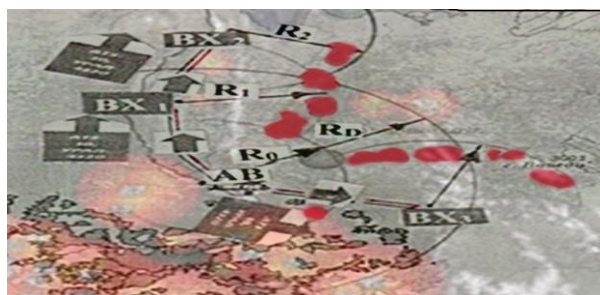


Рис. 4. Схема-карта местоположения АБ, ВХ и расчётный маршрут движения С и ПВ Ми-8 МТВ1 на пожаротушение:

$R_D(S)$  – максимальный радиус действия вертолёта;

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

$R_1$  – радиус полёта вертолёта на тушение пожара для безопасного возврата на ВХ<sub>1</sub> (маятниковый режим);

$R_2$  – радиус полёта вертолёта на тушение пожара для безопасного возврата на ВХ<sub>2</sub> (маятниковый режим);

$R_3$  – радиус полёта вертолёта на тушение пожара для безопасного возврата на ВХ<sub>3</sub> (маятниковый режим);

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

**Расчёт калькуляции затрат на вертолётные перевозки Ми-8 МТВ1.** Расчёт калькуляции затрат на транспортировку груза вертолётном Ми-8 МТВ1 в маятниковом режиме, с учётом забора воды в местах расположения источников воды, полёта к месту возгорания сливания воды и обратного перелёта. Согласно открытым источникам стоимость моторесурса вертолёта Ми-8МТВ1 определяется с учётом цены на вертолёт  $C_v \approx 30000000$  рублей и ресурса работы  $T_r \approx 12000$  часов. Таким образом, затраты на использование ресурса вертолёта Ми-8 МТВ1 и цена использования одного часа могут быть определены по формуле:

$$C_{mp} = C_v / T_r;$$

$$C_{mp} = 30000000 / 12000 = 2500 \text{ руб./ч},$$

где  $C_{mp}$  – цена моторесурса;

$C_v$  – цена вертолёта;

$T_r$  – время ресурса вертолёта, ч.

$$C_{mp1} = C_{mp} / 60;$$

$$C_{mp1} = 2500 / 60 = 41,66 \text{ руб./мин},$$

где  $C_{mp1}$  – цена ресурса вертолёта.

**Затраты на топливо вертолёта Ми-8 МТВ1.**

Согласно РЛЭ п. 3.1.5.3. лист 6 и л. 7 в условиях местности с высотой возвышенности до 400 метров, условно принимается высота полёта 600 метров [2]. Согласно открытым источникам затраты на топливо вертолёта Ми-8 МТВ1 определяются из учёта цены одного кг топлива 62 рубля, а также удельным расходом топлива вертолёта на всех режимах работы логистического цикла набора и доставки воды к месту ликвидации пожара по формуле:

$$Z_m = C_m * G_e,$$

где  $Z_m$  – затраты на топливо;

$C_m$  – цена топлива, руб.;

$G_e$  – расход топлива, кг/ч.

Рассмотрим следующие операции:

– первый взлёт в течение  $t_{вз} = 1$  мин, с расходом топлива 12 кг/мин.;

– время забора воды из водоёма согласно расчёту 0,11 мин. на одну тонну, определяется по формуле:

$$t_n = 0,0001 * q_g,$$

где  $q_g$  – масса груза, в кг;

– время набора высоты полёта 600 м.  $t_{нв1} = 2,16$  мин.;

– время полёта вертолёта Ми-8 с внешней ВСУ-5 до места слива воды (очага пожара) со скоростью 120 км/ч определяется по формуле:

$$t_{n1} = 60l / V = 60l / 120 = 0,5l, \text{ мин};$$

– время снижения к месту сброса воды определяется по формуле:

$$t_{c1} = t_{вз} / 2,$$

$$t_{c1} = 1 / 2 = 0,5 \text{ мин};$$

– время сброса воды определяется количеством сбрасываемой воды из расчёта срабатывания ВСУ определяется по формуле:

$$t_c = 0,00005 * q_g;$$

– время набора высоты 150 м в течение времени  $t_{н1} = 0,43$  мин;

– время возврата вертолёта Ми-8 к водоёму определяется по формуле:

$$t_v = t_{n1} = 60l / V,$$

$$t_v = t_{n1} = 60l / 120 = 0,5l, \text{ мин};$$

– время снижения вертолёта к месту сброса воды в течение:  $t_{cv} = 2$  мин.

В общем расчётное время цикла доставки груза к месту сброса определяется по формуле:

$$t_{\Sigma} = \sum t_i = t_{вз} + t_n + t_{нв1} + t_{n1} + t_{c1} + t_c + t_{н1} + t_v + t_{cv}.$$

**Затраты на оплату труда экипажам вертолёта Ми-8 МТВ1.** Из открытых источников по эксплуатации вертолёта Ми-8 МТВ1 с экипажами в составе 3-х человек: 1-й пилот командир экипажа (КВС); второй пилот (2/П); бортовой механик (Б/М), при выполнении полётов с грузом на внешней подвеске Б/М выполняет обязанности бортоператора, при полётах по выполнению работ для борьбы с лесными пожарами в состав экипажа включается летчик-наблюдатель. З/п соответственно  $\approx 200000$  руб.; 150000 руб.; 70000 руб. в месяц при налёте согласно санитарным нормам налёта 80 часов в месяц для расчётов.

Укрупнённо затраты на з/п экипажу с отчислениями и начислениями в месяц могут быть приняты по формуле:

$$Z_{zn} = Z_{zn1} + Z_{zn2} + Z_{znmc};$$

$$200000 + 150000 + 70000 = 430000 \text{ руб.}$$

Затраты на з/п экипажа за 1 час полёта вертолёта Ми-8 МТВ1 определяем по формуле:

$$Z_{znч} = Z_{zn} / 80 = 430000 / 80 = 5375 \text{ руб. / ч},$$

или на одну минуту полёта:

$$Z_{znм} = Z_{znч} / 60 = 5375 / 60 = 90 \text{ руб. / мин.}$$

Калькуляция затрат на цикл вертолётных перевозок груза  $q_g = 3400$  кг и  $q_g = 1200$  кг воды в маятниковом режиме от места загрузки на удалении 5 км до места сброса воды.

Расчёт времени цикла доставки груза:

– первый взлёт в течение  $t_{вз} = 1$  мин с расходом топлива 12 кг/мин;

– набор воды из водоёма определяется из расчёта 0,11 мин на одну тонну  $t_n = 0,001 * q_g$ ,  $t_n = 0,0001 * 3400 = 0,34$  мин;

– набор высоты полёта 600 м –  $t_{нв1} = 2,16$  мин и 1,8 мин;

– полёт вертолёт Ми-8 с внешней ВСУ до места сброса воды со скоростью 120 км/ч определяется по формуле:

$$t_{n1} = 60l/V = 60l/120 = 0,5l, \text{ мин};$$

$$t_{n1} = 0,5 * 5 = 2,5 \text{ мин.}$$

– снижение к месту сброса воды:

$$t_{c1} = t_{вз} / 2 = 0,5 \text{ мин};$$

– сброс воды определяется количеством сбрасываемой воды из расчёта срабатывания ВСУ по формуле:

$$t_c = 0,0005 * q_g;$$

$$t_c = 0,00005 * 3400 = 0,17 \text{ мин};$$

– набор высоты 150 м в течение времени  $t_{н1} = 0,43$  мин;

– возврат вертолёт Ми-8 к водоёму:

$$t_v = t_{n1} = 60l / V;$$

$$t_v = 60l / 120 = 0,5l = 0,5 * 5 = 2,5 \text{ мин};$$

– снижение вертолёт к месту сброса воды в течение  $t_{св} = 2$  мин.

В общем расчётное время цикла доставки груза к месту сброса определяется по формуле:

$$t_{\Sigma} = \sum t_i = t_{вз} + t_n + t_{нв1} + t_{н1} + t_{c1} + t_c + t_{н1} + t_v + t_{св};$$

$$t_{\Sigma} = 1 + 0,34 + 2,16 + 2,5 + 0,5 + 0,17 + 0,43 + 2,5 + 2 = 11,6 \text{ мин и } 11,12 \text{ мин соответственно.}$$

Затраты на использование ресурса вертолёт Ми-8 МТВ1 на доставку груза  $q_g = 3400$  кг и  $q_g = 1200$  кг в маятниковом режиме к месту сброса на удалении  $l = 5$  км определяются по формуле:

$$Z_{ир} = C_{ир1} * t_{\Sigma};$$

$$Z_{ир} = 41,7 * 11,6 = 483,3 \text{ руб.} / 465,79 \text{ руб.}$$

**Затраты на заправку топливом вертолёт Ми-8 МТВ1.** В соответствии с РЛЭ вертолёт Ми-8 п. 3.1. лист 6 и л. 7, в условиях местности с высотой возвышенности до 400 метров можно принять для коммерческой загрузки 3400 кг при расходе топлива 760 кг/ч или 12,7 кг/мин, а часовой расход топлива без загрузки 600 кг/ч или 10 кг/мин. При увеличении массы груза на 500 кг увеличивается расход топлива вертолёт на 20 кг/ч [2]. Согласно выполненным расчётам калькуляции время движения груза составляет 6,64 мин, а время движения возврата без груза составляет 4,9 мин.

$$3m = C_m * (t_{гг} * G_{гг} + t_{бг} * G_{бг});$$

$$3m = 62 (6,64 * 12,7 + 4,9 * 10) = 60 (84,3 + 49) = 7999,68 \text{ руб.} / 7160 \text{ руб.}$$

**Затраты на оплату труда экипажу вертолёт Ми-8 МТВ1.** Согласно произведённым расчётам на оплату труда экипажу вертолёт Ми-8 МТВ1 на перевозку груза  $q_g = 3400$  кг и  $q_g = 1200$  кг в маятниковом режиме на расстояние 5 км к месту сброса воды. Затраты определяются по формуле:

$$3_{зн} = 3_{зм} * t_{\Sigma};$$

$$3_{зн} = 90 * 11,6 = 1044 \text{ руб. и } 90 * 11,17 = 1005,3 \text{ руб.}$$

**Общие затраты на доставку вертолёт Ми-8 МТВ1 груза  $q_g = 3400$  кг и  $q_g = 1200$  кг на расстояние  $l = 5$  км определяются по формуле:**

$$3_o = 3_{ир} + 3_m + 3_{зн};$$

$$3_o = 483,3 + 7999,68 + 1044 = 9527 \text{ руб. (9488,3 руб.)}$$

Общие затраты на доставку вертолёт Ми-8 МТВ1 груза  $q_g = 1000$  кг на расстояние  $l = 5$  км составят:

$$3_{om} = 1000 * 3_o / q_g;$$

$$3_{om} = 1000 * 9527 / 3400 = 2802 \text{ руб. на } 1000 \text{ кг груза при } q_g = 3400 \text{ кг и } 7907 \text{ руб. при } q_g = 1200 \text{ кг.}$$

В целом на общие затраты при доставке вертолёт Ми-8 МТВ1 груза  $q_g = 1000$  кг на расстояние  $l = 5$  км составят:

$$3_{om} = 1000 * 3_o / q_g = 1000 * 9527 / 3400 = 2802 \text{ руб. для груза массой } 3400 \text{ кг и } 7907 \text{ руб. для груза массой } 1200 \text{ кг.}$$

Для наглядности построим диаграммы затрат на доставку (рис. 4 и 5).

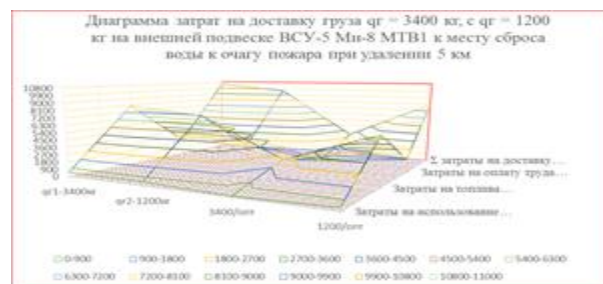


Рис. 5. Диаграмма затрат на доставку груза  $q_g = 3400$  кг и  $q_g = 1200$  кг

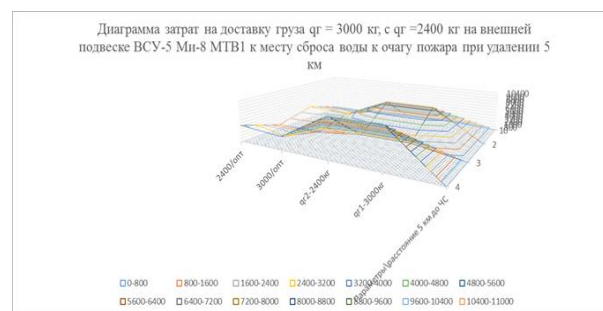


Рис. 6. Диаграмма затрат на доставку груза  $q_g = 3000$  кг и  $q_g = 2400$  кг

Анализируя выполненные расчёты и построив диаграммы и графики, можно построить номограмму зависимости удельного расхода топлива доставки одной тонны груза на расстояние до очага возгорания (рис. 7). Такая номограмма с двумя факторами поможет экипажам сэкономить драгоценное время в момент забора воды и заправки горючим при ликвидации пожара. Поверхность отклика на номограмме показывает оптимум расхода топлива при загрузке и соответствующей удалённости к ЧС. Чем дальше очаг ЧС, тем меньше можно загрузить груза (воды) для устранения возгорания.

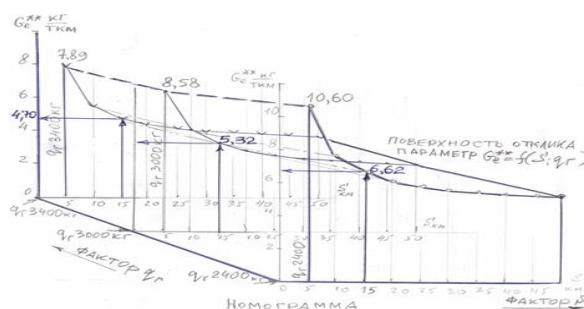


Рис. 7. Зависимость удельного расхода топлива  $Ge^{**}$ , доставки 1 т груза на  $l$  км пути Ми-8 МТВ1 от массы груза  $q_g$  (кг) и дальности  $S$  (км)

**Выводы.** 1. Предложенная модель полезной загрузки Ми-8 МТВ1 с ВСУ-5 средствами пожаротушения или топливом (грузом) способствует ресурсосбережению, снижению размера ущерба от пожара, сохранению моторесурса и т.д.

2. В исследованиях и расчётах определено влияние загруженности и дальности поставок груза на производительность.

3. При использовании ВХ с помощью спасательных противопожарных вертолётов в труднодоступных и отдалённых районах, в том числе подготовленные заблаговременно расчёты, диаграммы и номограммы, позволяют значительно сэкономить драгоценное время на тушение пожара, а также способствуют улучшению экологической обстановки в определённых чрезвычайных условиях.

4. На представленной в статье диаграмме учтены два фактора – это масса взятого на борт груза (воды, горючего и т.д.) и расстояние до ЧС. Определена зависимость удельного расхода топлива  $Ge^{**}$ , доставки 1 т груза на  $l$  км пути Ми-8 МТВ1 от массы груза  $q_g$  (кг) и дальности  $S$  (км), которые определяют оптимум расхода топлива на дальность до очага пожара в точке отклика для оценки возможной загрузки Ми-8 МТВ1.

#### Л и т е р а т у р а

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

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

3. Андреев А.А., Сингеев А.В., Петров А.Г. Усовершенствование транспортной технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций в отдалённых и труднодоступных районах // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2021. – № 6 (48). – С. 22-28.

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

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

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

Andreev A.A., Singeev A.V.

#### INFLUENCE OF LOAD AND DELIVERY RANGE ON THE PRODUCTIVITY AND RESOURCE SAVING OF MI-8 MTV1 HELICOPTERS IN EMERGENCIES

The article is devoted to the resource saving of expensive materiel, aviation equipment, increasing the efficiency of using C and PV Mi-8 MTV1, saving engine life, optimizing the process of eliminating emergencies, reducing damage during fire suppression and the impact of workload and delivery range on helicopter performance. Another of the main aspects in the article is devoted to the development and improvement of the methodology for determining the required (optimal) amount of refueling fuel, as well as loading other cargoes (water for fire fighting, etc.) to determine the optimal takeoff weight of the rescue and fire helicopter of the Ministry of Emergencies at the time of departure from the airfield or airbase to eliminate emergency situations. The implementation of the proposed methodology will provide invaluable assistance to the crews of rescue and fire helicopters in various difficult conditions (smoke, remoteness, inaccessibility, lack of landing sites, etc.) to complete the flight task, taking into account time pressure.

**Key words:** resource saving, motor resource, productivity, aviation equipment, special equipment, helicopter hubs, air base, aircraft, rescue - fire helicopter, Ministry of Emergency Situations, fire fighting, flood, emergency.

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

E-mail: tmtl\_snu@mail.ru

Andreev Alexander, Candidate of Technical Sciences (Engineering), Associate Professor of the «Transport Technologies» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

E-mail: singeevandrey1976@gmail.com

Singeev Andrey, senior lecturer of the «Transport Technologies» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

Статья подана 01.03.2022

УДК 656

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ САМОСВАЛЬНЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ

Андреев А.А., Чижевская Д.Ю., Петров А.Г., Ветерцовский В.Н.

### TO THE PROBLEM OF TRAFFIC SAFETY OF DUMP TRUCK

Andreev A.A., Chigevskaya D.U., Petrov A.G., Vetertsovsky V.N.

*В последнее время увеличилось количество аварийных ДТП, вызванных движением автосамосвалов с поднятым кузовом. Последствиями являются разрушения наземных пешеходных переходов, инфраструктуры, транспортного средства и потерпевшие участники движения.*

**Ключевые слова:** безопасность движения, самосвал, кузов, система управления.

**Введение.** В Подмосковье 5 февраля 2022 было остановлено движение по федеральной трассе М7 "Волга" (по Горьковскому шоссе) после того как самосвал снес надземный пешеходный переход. Грузовик с поднятым кузовом на полном ходу столкнулся с надземным пешеходным переходом около пяти утра, вследствие чего стальной пешеходный переход обрушился на проезжую часть.

Горьковское шоссе оказалось парализовано. Сотрудникам ГИБДД пришлось ограничить движение, чтобы пропустить спецтехнику. На рис. 1 показана работа аварийной службы, где тяжелые краны по прибытии занялись устранением последствий аварии. Тяжелые краны были использованы для поднятия всего надземного перехода целиком, прямо над проезжей частью.



Рис. 1. Последствия ДТП в Подмосковье

Движение удалось восстановить только к полудню. По одной из версий, водитель просто забыл опустить кузов. Кузов самосвала застыл в поднятом положении, а кабину сплющило буквально пополам (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид самосвала после столкновения

**Анализ последних исследований и публикаций.** В результате аварии пострадал водитель самосвала. Надземный пешеходный переход восстановлению не подлежит. Самосвал не подлежит ремонту [1].

На рис. 3 изображена схема управления подъемным механизмом платформы самосвала КамАЗ.

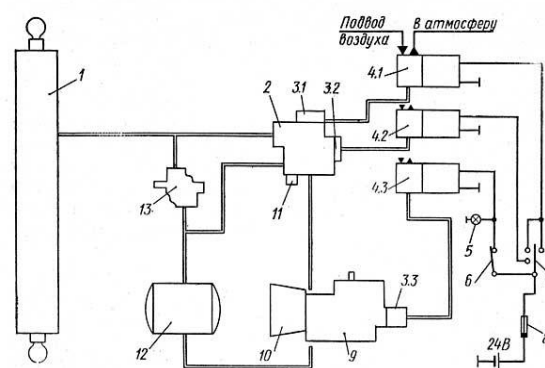


Рис. 3. Схема подъемного механизма платформы самосвалов КамАЗ:

1 – гидроцилиндр; 2 – кран управления; 3.1, 3.2, 3.3 – пневмокамеры; 4.1, 4.2, 4.3 – электропневмоклапаны; 5 – контрольная лампа; 6 – выключатель коробки отбора мощности; 7 – переключатель «Подъем – опускание»; 8 – термометаллический предохранитель; 9 – коробка отбора мощности; 10 – насос; 11 – предохранительный клапан; 12 – масляный бак; 13 – ограничительный клапан

Виды кузова автомобиля КамАЗ: в двух положениях показаны на рисунке 4 [3].

В транспортном положении выключатель 6 и переключатель 7 находятся в выключенном состоянии, электрические пневматические клапаны 4.1, 4.2 и 4.3, закрыты, коробка отбора мощности 9 отключена, масляный насос 10 не работает.



Рис. 4. Положения кузова самосвального автомобиля КамАЗ:

а – положение кузова при разгрузке;  
б – обычное положение кузова

При подъеме кузова сначала выключатель 6 устанавливается в положение «Включен», а потом включается переключатель 7 «Подъем». При этом последовательно срабатывают клапаны 4.1, 4.2 и 4.3 и сжатый воздух направляется, соответственно, в пневматические камеры 3.3 коробки отбора мощности, 3.1 и 3.2 крана управления 2 с предохранительным клапаном 11.

Клапан, обеспечивающий слив масла из масляного насоса 10 в масляный бак 12, закрывается, а клапан магистрали, ведущей от крана управления в гидроцилиндр 1, открывается.

При соответствующем давлении масла начинается подъем кузова. При подъеме кузова на угол  $60^\circ$  открывается клапан ограничения подъема кузова 13, и давление в системе падает. Кузов начинает опускаться, клапан ограничения закрывается, вновь возрастает давление, и кузов опять поднимается. Чередование этих процессов в конце подъема кузова обеспечивает его встряхивание и быструю разгрузку.

Фиксация кузова при подъеме в любом положении осуществляется переводом переключателя «Подъем» в положение «Выключено». В этом случае клапаны 4.1 и 4.2 прекращают подачу сжатого воздуха в пневматические камеры 3.1 и 3.2, выход масла из гидроцилиндра перекрывается магистральным клапаном крана управления, а масляный насос перекачивает масло в масляный бак.

При опускании кузова переключатель «Опускание» устанавливается в положение «Включено». В этом случае срабатывает клапан 4.1 и открывается клапан, соединяющий кран управления с гидроцилиндром. Масло сливается в бак, и кузов опускается. После полного опускания кузова переключатель ставится в положение «Выключено».

В электрическую схему подъемного механизма включены предохранитель 11 и сигнализатор 8 (контрольная лампа).

В данной работе предлагается установить дополнительно к контрольной лампе звуковой сигнал.

Известным способом решения проблемы движения с поднятым кузовом является установка специальных датчиков с концевыми выключателями в гидравлической системе, которые ограничивают возможность движения с поднятым самосвальным кузовом.

Использование блокировочных средств ограничивает скорость движения автомобиля самосвала. Если кузов поднят, то транспортное средство не сможет разогнаться более 5 км/ч, что поможет соблюсти правила безопасности и полностью избежать подобных аварий.

Устройство ограничения скорости (УОС) состоит из: электронного блока управления (ЭБУ) и исполнительного устройства (электромагнитный клапан).

Принцип действия: ограничение скорости автомобиля путем использования штатных устройств (горный тормоз), электронные блоки управления автомобилем (в частности, функция ограничения мощности), либо использование электромагнитного клапана управления подачей топлива, входящего в комплект поставки.

Электронный блок управления непрерывно получает импульсный сигнал от штатной системы определения скорости автомобиля-тахометра или цифрового спидометра.

При достижении автомобилем критической скорости ЭБУ передает сигнал на штатное устройство или электромагнитный клапан управления подачей топлива, и происходит резкое снижение подачи топлива в двигатель, скорость автомобиля становится меньше критического значения. При значении скорости менее критического значения ЭБУ прекращает подачу сигнала. Значение критической скорости задается при калибровке ЭБУ [2].

**Цель исследования.** Недостатком данного способа регулирования скорости движения самосвала является возможность дальнейшего движения даже с поднятым кузовом и нарушением габарита транспортного средства движения что может привести к аварии при столкновении со строениями дорожной инфраструктуры или зданиями и сооружениями.

Для обеспечения безопасности эксплуатации самосвальных автомобилей необходимо применение дополнительных устройств, предотвращающих движение по дорогам самосвала с поднятым кузовом.

**Материалы и результаты исследования.** Известно использование воздушных заслонок, которые перекрывают воздухопровод с минимальной подачей воздуха в режиме запуска и прогрева

бензиновых двигателей, а также предотвращают режимы разноса дизельных двухтактных двигателей внутреннего сгорания.

Поворотные модели, именуемые дроссельными заслонками (рис. 5), могут устанавливаться на вентиляции с естественной тягой. Модели представлены в виде закреплённой на оси пластины и приводятся в действие при помощи поворотной ручки. Ручка, в свою очередь, закрепляется на пластине посредством болта и гайки-барашка и открывает задвижку на 10 градусов при каждом повороте. Все детали клапана изготавливаются из оцинкованной стали и при необходимости дополнительно окрашиваются.

Для решения вопросов, связанных с ДТП, возникших при поднятом кузове самосвала после разгрузки и при движении на расстояние более 100 м, предлагается разработать устройство для принудительной остановки работы двигателя самосвала, с дальнейшим возвратом кузова в рабочее положение.

Данное устройство работает следующим образом: в воздушном тракте управляющего предохранительного клапана устанавливается поворотная заслонка, которая автоматически перекрывает доступ воздуха двигателю в случае поднятого кузова самосвала после разгрузки и при движении на расстояние более 100 м.

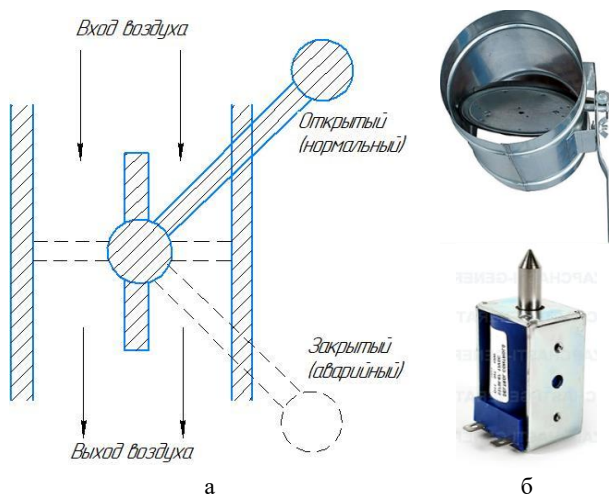


Рис. 5. Дроссельная заслонка с электромагнитным приводом:

а – условная схема; б – техническое исполнение

В последнее десятилетие повышение качества и безопасности дорожного движения является актуальным вопросом. Поэтому конструктивные и технологические решения, связанные с модернизацией подвижного состава, увеличат надёжность автотранспортного средства, создадут условия для решения конфликтных ситуаций, которые в большинстве случаев становятся дорожно-транспортными происшествиями (ДТП) [4].

Актуальность данного вопроса показана также и в методике решения оценки потерь народного хозяйства от дорожно-транспортных происшествий. В структуре потерь народного хозяйства от дорожно-транспортных происшествий выделяют два основных вида потерь: прямые и косвенные.

#### Выводы:

1. Для обеспечения безопасности дорожного движения предлагается разработать и установить устройство на транспортное средство, которое заблокирует двигатель автомобиля до момента опускания кузова в исходное положение.

2. Блокировка дизельного двигателя может быть осуществлена путем остановки подачи воздуха за счет закрытия поворотной заслонки в воздушном трубопроводе после прохождения определенного расстояния (100 м и более). После полного опускания кузова в нормальное положение при использовании электромагнитных приводов поворотная заслонка возвращается в открытое положение и двигатель готов к повторному запуску, а самосвал готов к дальнейшему движению.

#### Литература

1. Вести RU [Электронный ресурс] URL: <https://www.vesti.ru/article/2673099> (дата обращения 10.02.2022).
2. Корпоративный сервис «Сибирь» [Электронный ресурс] URL: <http://ks-gps.ru/shop/dopog/ustrojstva-ogranicheniya-skoroosti-uos/Nadezhnyj%20Kontrol%2080/> (дата обращения 10.02.2022).
3. Кузовной ремонт автомобиля своими руками. Как поднять кузов на КамАЗе [Электронный ресурс] URL: <https://kuzovspec.ru/remont/kak-podnyat-kuzov-na-kamaz/> (дата обращения 10.02.2022).
4. Кликовштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения: Учебник для вузов, 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.

Andreev A.A., Chigevskaya D.U., Petrov A.G.,  
Vetertsovsky V.N.

#### TO THE PROBLEM OF TRAFFIC SAFETY OF DUMP TRUCK

*Recently, the number of accidents caused by the movement of dump trucks with a raised body has increased, the consequences are the destruction of ground pedestrian crossings, infrastructure, vehicles and injured road users.*

**Key words:** traffic safety, dump truck, body, control system.

Андреев Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», почетный профессор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
E-mail: tmtl\_snu@mail.ru

Andreev Alexander, Candidate of Technical Sciences (Engineering), Associate Professor of the «Transport Technologies» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

Чигевская Дарья Юрьевна, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии» ГОУ

ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** shevchenkodu@mail.ru

**Chizhevskaya Dar`ya**, Senior Lector of Department of Transports Technology, SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University»

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

**E-mail:** qjdj@mail.ru

**Petrov Aleksander**, Senior Lector of Department of Transports Technology, SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Ветерцовский Владислав Николаевич**, магистрант кафедры «Транспортные технологии» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** vvetertsovky@gmail.com

**Vetertsovsky Vladislav**, undergraduate of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

*Статья подана 16.04.2022*

УДК 622.002.5.004.6.003.1

## НОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКАЗОВ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

Антипов И.В., Коструб В.А., Коструб О.М.

## NEW CLASSIFICATION OF LIFTING AND TRANSPORT EQUIPMENT FAILURES

Antipov I.V., Kostrub V.A., Kostrub O.M.

*Разработана новая классификация отказов подъемно-транспортной техники, позволяющая обосновать рациональные подходы к оценке и разработке мероприятий по повышению надежности подъемно-транспортных работ.*

**Ключевые слова:** отказы подъемно-транспортного оборудования, подъемно-транспортная техника, надежность подъемно-транспортных работ.

**Введение.** Проблема обеспечения высокой надежности является одной из наиболее важных в области создания и эксплуатации подъемно-транспортной техники. Роль надежности как важнейшего показателя качества изделий машиностроения особенно возросла в связи с созданием сложных высокопроизводительных транспортных систем. Простои транспортных машин и комплексов вследствие отказов связаны со значительными производственными потерями.

Решение вопросов проектирования, производства и эксплуатации подъемно-транспортного оборудования невозможно без использования основных положений теории надежности.

Надежность подъемно-транспортных машин характеризуется как свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения расчетных эксплуатационных показателей в установленных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

**Изложение основного материала.** При решении задач повышения эксплуатационной надежности подъемно-транспортных машин и механизмов определяющими являются факторы, влияющие на коэффициент готовности оборудования и режимы работы, а также факторы, влияющие на интенсивность отказов.

В настоящее время в системе «человек-машина-среда» наиболее изучена надежность техники. В работах [1-4] дается статистический анализ эксплуатационной надежности подъемно-транспортного и горно-шахтного оборудования. Различные методы исследования и оценки надежности оборудования, а также классификации

отказов предлагаются авторами работ [5]. В частности, предлагается оценивать надежность подъемно-транспортного оборудования показателем «технологическая готовность», под которым подразумевается вероятность работоспособного состояния системы с заданной производительностью. При этом возникающие технологические перерывы учитываются так же, как и отказы последовательного типа с определенной интенсивностью и временем восстановления. Влияние технологических перерывов на снижение производительности подъемно-транспортного оборудования оценивается коэффициентом технологичности. В качестве основного критерия предлагается динамически изменяющаяся величина грузопотока. Для решения задачи управления надежностью оборудования путем оптимального планирования резервов запасных частей используются методы теории массового обслуживания [3].

В процессе эксплуатации оборудования под воздействием различных факторов происходят износ, повреждение и разрегулирование элементов машин и механизмов, в результате отказывают ее отдельные компоненты и снижается эффективность работы технологического звена. Иными словами, происходит постепенный переход их из состояния, характеризуемого номинальными значениями, в состояние с худшими качественными характеристиками. В результате этого снижается производительность работы, ухудшается качество выполнения машинами и механизмами своих функций, то есть нарушается нормальное состояние машин и оборудования.

В этой связи возникает необходимость вернуть работу машин и механизмов в состояние номинальных характеристик путем подрегулирования, замены непригодных деталей и узлов, восстановления как отдельных элементов машин, так и всей системы комплекса оборудования. Это требует определенных материальных и трудовых затрат, которые обусловлены необходимостью проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Надежность характеризуется проявлением всех

показателей качества подъемно-транспортных машин в процессе их эксплуатации. Если машина обладает низкой надежностью, часто выходит из строя и больше находится в ремонте, чем в работе, то, естественно, ее технические качества не могут быть эффективно использованы.

Следовательно, надежность является наиболее общим, комплексным свойством, характеризующим качество любого технического изделия, машины, аппарата, технологического процесса.

Оборудование, входящее в состав подъемно-транспортного комплекса, может быть восстанавливаемым или невосстанавливаемым, если проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено или не предусмотрено в нормативно-технической документации.

Объекты, для которых проведение ремонтов предусмотрено или не предусмотрено в нормативно-технической документации, называются соответственно ремонтируемыми и неремонтируемыми.

Предельным называется состояние оборудования, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо (например, по условиям выполнения требований безопасности работ) или нецелесообразно (выход заданных параметров за установленные пределы), либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Термин «отказ» является одним из основных понятий теории надежности. Отказ – это событие, заключающееся в полной или частичной утрате машиной или ее элементами работоспособности. В отличие от отказа повреждение – это событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении его работоспособного состояния [4].

Отказы подъемно-транспортного оборудования – это события, заключающиеся в прекращении или резком ухудшении выполнения ими своей основной функции, а также в появлении опасной ситуации для рабочих.

Подъемно-транспортное оборудование в целях исследования и анализа его надежности разделяется на элементы и системы. Под элементом понимается объект, надежность которого изучается как единое целое, независимо от его структуры и устройства составных элементов. Надежность объекта как системы определяется в зависимости от структуры системы и надежности входящих в ее состав элементов.

Если отказы функциональных машин и других элементов подъемно-транспортного комплекса и их связей вызывают нарушение работоспособности, то они являются одновременно и отказами всего комплекса.

Отказы подъемно-транспортных машин и их элементов могут быть классифицированы по следующим признакам:

- причина, характер и условия возникновения;

- влияние на работу и характер утраты работоспособности оборудования;
- взаимосвязь между собой и возможность осуществления контроля;
- влияние на безопасность работ;
- наличие внешних проявлений;
- способ, сложность и характер устранения;
- последствия и возможность последующего использования оборудования.

Все эти классификационные признаки разбиваются на классификационные группы, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Классификационные группы и признаки отказов оборудования**

| Классификационные группы | Классификационные признаки  |
|--------------------------|-----------------------------|
| <b>А</b>                 | <b>Возникновение отказа</b> |
| A1                       | причины                     |
| A2                       | условия                     |
| A3                       | характер                    |
| A4                       | взаимосвязь                 |
| <b>Б</b>                 | <b>Влияние отказа</b>       |
| B1                       | контролируемость            |
| B2                       | внешние проявления          |
| B3                       | безопасность работ          |
| B4                       | последствия (состояние)     |
| <b>В</b>                 | <b>Устранение отказа</b>    |
| V1                       | характер                    |
| V2                       | способ                      |
| V3                       | совместимость               |
| V4                       | сложность                   |
| <b>Г</b>                 | <b>Последствия отказа</b>   |

В соответствии с классификационными признаками отказы можно разделить на группы, в которые войдут функциональные и параметрические, безопасные и опасные, простые и сложные, внезапные и постепенные, зависимые и независимые, контролируемые и неконтролируемые, допустимые и недопустимые, явные и скрытые, полные и частичные, конструкционные, технологические, эксплуатационные, ошибочные и др.

Исходя из этого, разработана новая классификация отказов подъемно-транспортного оборудования, представленная на рис. 1.

Элемент может потерять работоспособность как в результате разрушения, заклинивания, то есть прекращения функционирования, так и вследствие выхода какого-либо параметра за пределы допустимой величины. В этой связи все отказы можно разделить на функциональные и параметрические.

Отказы элементов, при которых не возникает опасной ситуации и имеется возможность осуществлять подъемно-транспортные операции, относятся к повреждениям, вызывающим неисправности подъемно-транспортного оборудования.

Опасными являются отказы, которые при возникновении в процессе их ликвидации или в последующем создают опасную ситуацию для рабочих.

Внезапные отказы возникают при резком, скачкообразном изменении одного или нескольких

основных параметров элемента в результате различных случайных воздействий обычно физического характера.

Постепенные отказы характеризуются плавным изменением параметров элемента, например, в результате изнашивания, старения.

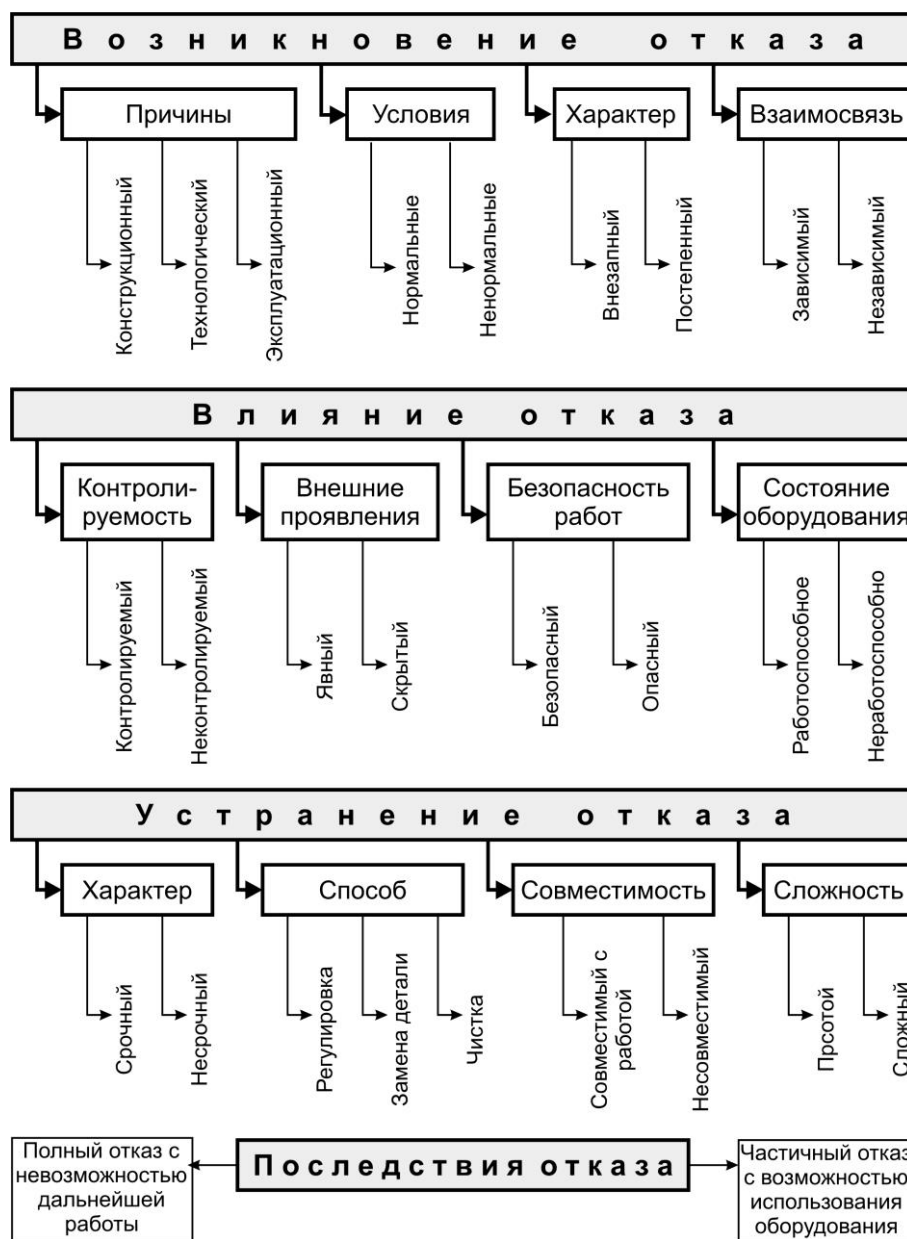


Рис. 1. Классификация отказов подъемно-транспортной техники

Независимые отказы, в отличие от зависимых, не связаны с предшествующими отказами других элементов.

Контролируемые отказы выявляются средствами технической диагностики или обслуживающим персоналом при проведении проверок и осмотров, а неконтролируемые не могут быть выявлены без частичной или полной разборки оборудования.

Допустимые отказы возникают в результате

естественного повреждения элементов при эксплуатации подъемно-транспортных машин, недопустимые – в результате недостаточной прочности или интенсивного износа элементов. Недопустимые отказы требуют повышенного внимания и полной их ликвидации.

Полный отказ приводит к нарушению всех функций, которые должна выполнять подъемно-транспортная система. Он исключает любую возможность возобновления работы до его устране-

ния. Устранение отказа требует восстановительных работ, связанных с существенным расходом времени, материалов и средств.

Частичные отказы позволяют пользоваться оборудованием по назначению с определенными ограничениями. Устранение неисправности не требует замены детали, и эта неисправность может быть устранена обслуживающим персоналом.

**Выводы.** Установление причины и периода возникновения отказа с помощью разработанной классификации позволяет обоснованно подходить к разработке мероприятий по повышению надежности подъемно-транспортной техники.

#### Л и т е р а т у р а

1. Антипов И.В. Оценка надежности горнодобывающих технологий вероятностно-физическими методами / И.В. Антипов, И.А. Турбор // Физико-технические проблемы горного производства. Вып. 14. – Донецк: Институт физики горных процессов, 2011. – С. 106-114.
2. Антипов И.В. Методика комплексных инструментальных исследований в очистных забоях угольных шахт / И.В. Антипов, А.В. Савенко, С.В. Малиновский // Труды РАНМИ: сборник научных трудов. – Донецк, 2018. – № 5(20). – С. 205-212.
3. Антипов И.В. Моделирование надежности технологических процессов методом группового учета аргументов / И.В. Антипов, М.В. Корнеев // Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников. – Москва, 2000. – С. 202-203.
4. Антипов И.В. Физико-техническое обоснование параметров высокопроизводительных угледобывающих комплексов нового поколения / И.В. Антипов // Физико-технические проблемы горного производства. Вып. 11. – Донецк: Институт физики горных процессов, 2008. – С. 69-80.
5. Антипов И.В. Применение МГУА для формализации производственных процессов и операций в очистных забоях / И.В. Антипов, И.А. Турбор // Физико-технические проблемы горного производства. Вып. 15. – Донецк: Институт физики горных процессов, 2012. – С. 152-168.

#### **Antipov I.V., Kostrub V.A., Kostrub O.M. NEW CLASSIFICATION OF LIFTING AND TRANSPORT EQUIPMENT FAILURES**

*A new classification of lifting and transport equipment failures has been developed, which allows to substantiate rational approaches to the assessment and development of measures to improve the reliability of lifting and transport operations.*

**Key words:** failures of lifting and transport equipment, lifting and transport equipment, reliability of lifting and transport operations.

**Антипов Игорь Владиславович**, д.т.н., профессор кафедры «Подъемно-транспортная техника», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** iantypov@ukr.net

**Antipov Igor**, doctor of technical sciences, professor of the department «Lifting and transport equipment», Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Коструб Владимир Алексеевич**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортная техника», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** vkostrub@mail.ru

**Kostrub Vladimir**, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department «Lifting and transport equipment», Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Коструб Ольга Михайловна**, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** okostrub82@bk.ru

**Kostrub Olga**, senior lecturer of the «Railway transport» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

*Статья подана 18.03.2022*

УДК 621.43.08.

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ВОЗДУШНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

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

## ANALYSIS OF MODERN AIR CHILLERS

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

*Проанализированы особенности воздушных холодильных машин (ВХМ), имеющих большой потенциал низкотемпературного охлаждения без использования низкокипящих рабочих тел. Рассмотрено направление увеличения эффективной работы и надежности воздушной холодильной машины за счет применения в качестве детандера и основного компрессора каскадно-рекуперативного обменника давления (КОД). Представлены особенности рабочего цикла КОД, позволяющие организовать рабочий цикл ВХМ КОД, где главным энергетическим источником является тепловая энергия различного происхождения.*

**Ключевые слова:** воздушная холодильная машина, регенерация, рекуперация, детандер, холодопроизводительность, давление, теплота.

**Введение.** Значительная составляющая общего потребления энергоресурсов современной цивилизации связана с производством холода технологического и бытового назначения. Развитие криогенных технологий сепарации, очистки и сжижения нефтяного и природного газов, извлечения углеводородов из свалочного, шахтного и биологических газов, наряду с глобализацией производства продуктов питания, укрупнением рынков животноводства и морепродуктов порождают растущую потребность в мощных установках низкотемпературного охлаждения, используемых как на транспорте, так и в стационарных установках.

**Цель статьи** заключается в кратком анализе современных воздушных холодильных машин и выявлении наиболее приемлемой схемы ВХМ, что представляет собой весьма важную и актуальную научно-производственную задачу.

**Материалы и результаты исследования.** В настоящее время возобновляется интерес к использованию воздушных холодильных машин, имеющих большой потенциал низкотемпературного охлаждения без использования низкокипящих рабочих тел.

Холодильный коэффициент воздушных холодильных машин при относительно небольших отношениях температур окружающей среды и охлаждаемого объекта уступает показателям пароконденсационных машин, однако в области глубокого охлаждения рабочий цикл ВХМ с

регенерацией реализует более высокую энергетическую эффективность. Немаловажным является экологический аспект привлекательности воздушных холодильных машин, особенно в свете решения Монреальского совещания, запрещающего использование в качестве хладагентов озоноразрушающих веществ.

Вместе с тем получающие распространение воздушные холодильные машины на базе турбодетандеров (см. рис. 1) дорогостоящи в изготовлении и ввиду высокой частоты вращения ротора турбины имеют ограниченный ресурс, требуют высокого уровня технического обслуживания.

Турбодетандерная воздушная холодильная машина работает следующим образом. Сжатый компрессором 2 воздух после предварительного охлаждения до температуры, близкой температуре окружающей среды, поступает в турбодетандер 1, где в процессе расширения с совершением механической работы охлаждается до низких температур, и затем в качестве хладагента подается в холодильную камеру 4.

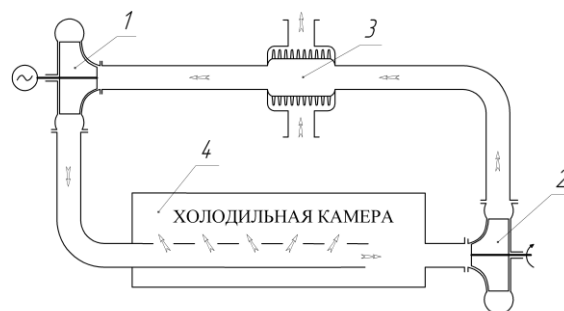


Рис. 1. Принципиальная схема турбодетандерной воздушной холодильной машины:  
1 – турбодетандер; 2 – компрессор; 3 – охладитель воздуха; 4 – холодильная камера

Возможность удешевления ВХМ связывается с использованием в качестве детандер-компрессора волнового обменника давления (ВОД), аналогичного по конструкции агрегату воздухообеспечения системы наддува двигателей внутреннего сгорания «Comprex» [1, 2].

В роторе ВОД в процессе непосредственного обмена энергией между сжимающей и сжимаемой средами наряду с охлаждением воздушного потока осуществляется сжатие до 25...30 % хладагента. Большая часть хладагента сжимается в отдельной, основной ступени компрессора, приводимого от внешнего источника механической энергии. В представленной на рис. 2 воздушной холодильной машине детандер-компрессор выполнен в виде волнового обменника давления, совмещающего в себе функции детандера и компрессора. Сжатый и предварительно охлажденный воздух подается в волновой обменник давления, где в результате расширения и совершения работы сжатия части воздушного хладагента охлаждается, после чего направляется в холодильную камеру. Расход сжимаемого в волновом обменнике давления воздуха составляет меньшую часть общего расхода хладагента, другая (большая) часть воздушного хладагента сжимается в компенсационной ступени, выполненной в виде приводного нагнетателя [3].

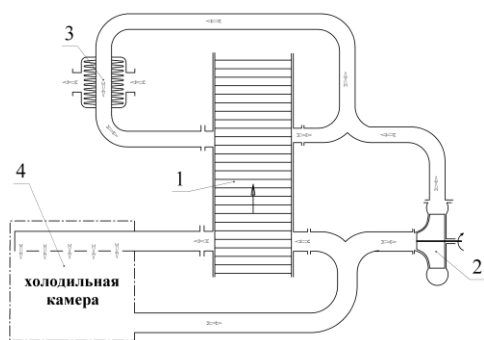


Рис. 2. Принципиальная схема воздушной холодильной машины на базе волнового обменника давления:  
1 – волновой обменник давления; 2 – приводной нагнетатель; 3 – охладитель воздуха; 4 – холодильная камера

К преимуществам волнового детандер-компрессора относится простота и надежность конструкции устройства, а также более низкая относительно турбоагрегата частота вращения ротора (6500...10000 мин<sup>-1</sup>).

Работа ВОД характеризуется сложностью газодинамических процессов, протекающих в напоробменных каналах ротора. Волновой характер обмена энергией предопределяет высокую чувствительность рабочего процесса ВОД к картине взаимодействия первичных волн с передними кромками газораспределительных окон. Отклонение режима работы ВОД от расчетных условий по частоте вращения ротора, давлению и температуре рабочих сред сопровождается резким ухудшением показателей его работы как вследствие рассогласования фаз движения первичных волн, так и вследствие неполноты вытеснения сжатого воздуха из ячеек ротора. Увеличение доли сжатого воздуха, оставшегося в ячейке в момент ее

разобширения с окнами высокого давления, вызывает почти пропорциональное снижение к.п.д., аналогично негативному эффекту так называемого «мертвого» объема в поршневом компрессоре. Кроме того, неизбежные диссипативные явления в процессах формирования и взаимодействия сильных ударных волн ограничивают к.п.д. лучших образцов волновых обменников давления на расчетных режимах значениями 0,55...0,56 [4].

К недостаткам ВОД следует отнести практическое ограничение (по критерию эффективности обменных процессов) степени повышения давления в одной ступени значениями  $P_k = 2,5 \dots 2,8$ .

Более широкую перспективу совершенствования эксплуатационных показателей ВХМ раскрывает использование в качестве детандера, а также в качестве основного компрессора принципиально новой разновидности энергообменных устройств – каскадного обменника давления (КОД) [5].

В разработанном на кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» Луганского государственного университета имени Владимира Даля КОД обмен энергией осуществляется в условно стационарных статических многоступенчатых процессах массообмена с формированием волн незначительной эффективности. Поэтому рабочий процесс характеризуется более высокой эффективностью и меньшей чувствительностью к рассогласованию частоты вращения ротора.

Принцип действия КОД иллюстрируется рис. 3, где схематизирована развертка ячеек ротора относительно газораспределительных окон и массообменных каналов статора.

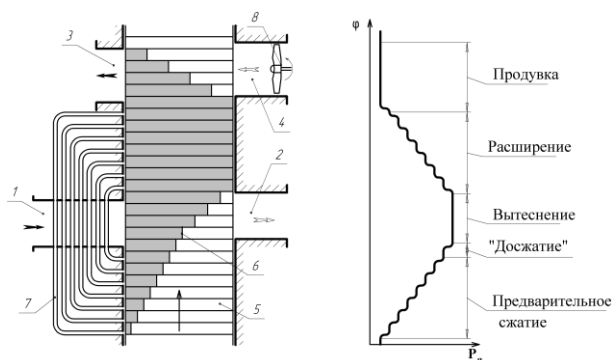


Рис. 3. Схема развертки ротора КОД относительно окон и каналов статора:

1 – окно подвода высокого давления (ПВД); 2 – окно отвода высокого давления (ОВД); 3 – окно отвода низкого давления (ОНД); 4 – окно подвода низкого давления (ПНД); 5 – ячейки ротора; 6 – условная контактная граница сжимающей и сжимаемой сред; 7 – массообменные каналы статора; 8 – продувочный вентилятор

Активная среда, поступающая из окна ПВД в ячейку ротора, «досжимает» предварительно сжатый воздух до уровня сопротивления сети и вытесняет его через окно ОВД к потребителю.

Потенциальная энергия рабочих сред после разобращения с окнами высокого давления полезно используется для предварительного сжатия свежего воздуха в период последовательного сообщения рассматриваемой ячейки посредством массообменных каналов с ячейками участка сжатия. При этом в процессе каскадного массообмена давление в каждой из ячеек в период её движения на участке расширения ступенчато снижается, а на участке сжатия – ступенчато повышается.

При подключении ячейки к окнам низкого давления ОНД и ПНД осуществляется принудительная продувка свежим зарядом.

В идеализированном цикле КОД (рис. 4) имеет место примерное равенство объемных расходов сжимаемого воздуха и сжимающего газа, поэтому отношение массовых расходов этих сред близко обратному отношению их температур. Отмеченное является косвенным подтверждением более высокого к.п.д. КОД относительно ВОД.

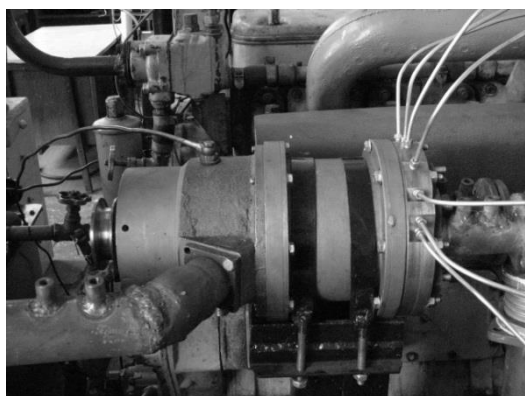


Рис. 4. Опытный образец КОД

Замечательная особенность рабочего цикла КОД заключается в незначительном влиянии неполноты вытеснения сжатого воздуха из ячеек ротора к потребителю («мертвого» объема) на эффективные показатели обменника. Причина такой нечувствительности вполне объяснима. Энергия сжатого воздуха, оставшегося в ячейке после разобращения с окном ОВД, участвует в процессе каскадного массообмена и, следовательно, наряду с энергией сжимающего газа в ячейке непосредственно расходуется на последующее сжатие свежего заряда.

К эксплуатационным преимуществам КОД относится возможность осуществления рабочего процесса при более низких частотах вращения ротора ( $1500...3000 \text{ мин}^{-1}$ ) относительно частоты вращения ротора ВОД ( $8000...12000 \text{ мин}^{-1}$ ). Испытания ряда опытных образцов подтвердили эффективность обменных процессов в КОД в диапазоне рабочих режимов до  $P_k = 4...4,2$ . На

режиме  $P_k = 2,5$  при отношении температур сжимающего и сжимаемого газов  $1,82$  (частота вращения ротора –  $2750 \text{ мин}^{-1}$ ) коэффициент полезного действия КОД достигает значений  $0,82$ .

Отмеченные выше свойства КОД позволяют осуществлять рабочий цикл воздушной холодильной машины без использования компрессора основной ступени сжатия хладагента.

В устройстве бескомпрессорной ВХМ с КОД (см. рис. 5, 6) один из каскадных обменников (КОД1) выполняет функции детандера-компрессора, другой – КОД2 – компенсационной ступени сжатия воздуха.

В простейшем устройстве ВХМ КОД без регенерации (см. рис. 5) сжатый воздух через окно 1 поступает в КОД1, где расширяясь охлаждается, одновременно совершая работу сжатия воздуха, подводимого в КОД1 через окно 4 из холодильной камеры. Холодный воздух из КОД1 через окно 3 непосредственно подается в холодильную камеру. Сжатый в ячейках ротора КОД1 воздух посредством циркуляционного вентилятора 11 проталкивается через утилизационные теплообменники 16, 17 и источник подвода теплоты 15, где подогревается.

В результате повышения температуры объемный расход сжатого в КОД1 воздуха значительно увеличивается, что обеспечивает соответствующее повышение производительности КОД2, сжимающего воздух, поступающий через окно 8 из окружающей среды.

Сжатый в КОД2 воздух через окно 6 под действием перепада давления, создаваемого циркуляционным вентилятором 11, направляется в охлаждающий радиатор 14 и далее подводится к окну 1 КОД1.

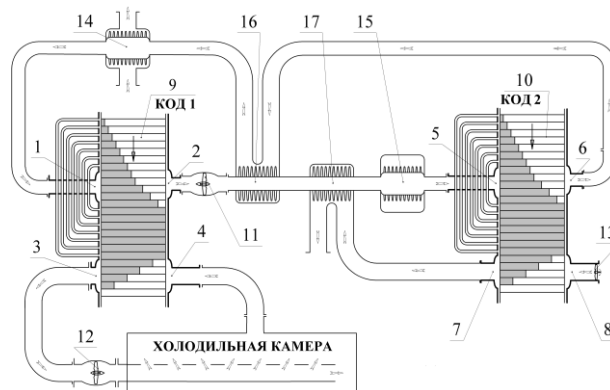


Рис. 5. Принципиальная схема воздушной холодильной машины на базе КОД без регенерации:

1, 2 – соответственно окна подвода и отвода высокого давления детандера-компрессора; 3, 4 – соответственно окна отвода и подвода низкого давления детандера-компрессора; 5, 6 – соответственно окна подвода и отвода высокого давления КОД2; 7, 8 – соответственно окна отвода и подвода низкого давления КОД2; 9 – детандер-компрессор КОД1; 10 – компенсационная ступень сжатия воздуха КОД2; 11 – циркуляционный вентилятор; 12, 13 – соответственно продувочные вентиляторы КОД1

и КОД2; 14 – охладитель воздуха; 15 – источник подвода теплоты, 16, 17 – утилизационные теплообменники

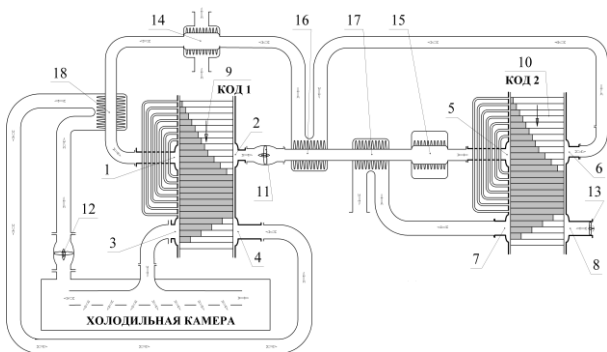


Рис. 6. Принципиальная схема воздушной холодильной установки на базе КОД с регенерацией:

1, 2 – соответственно окна подвода и отвода высокого давления детандера-компрессора; 3, 4 – соответственно окна отвода и подвода низкого давления детандера-компрессора; 5, 6 – соответственно окна подвода и отвода высокого давления КОД2; 7, 8 – соответственно окна отвода и подвода низкого давления КОД2; 9 – детандер-компрессор КОД1; 10 – компенсационная ступень сжатия воздуха КОД2; 11 – циркуляционный вентилятор; 12, 13 – соответственно продувочные вентиляторы КОД1 и КОД2; 14 – охладитель воздуха; 15 – источник подвода теплоты, 16, 17 – утилизационные теплообменники; 18 – регенеративный теплообменник

Давление сжатого в КОД2 воздуха и, следовательно, степень его расширения и глубина охлаждения в КОД1 зависят от уровня подогрева потока в источнике подвода теплоты 15, повышаясь с увеличением последней. Более высокий к.п.д. при увеличении глубины охлаждения обеспечивает ВХМ КОД с регенерацией. В устройстве, показанном на рис. 6, воздух из холодильной камеры посредством специального вентилятора 12 направляется к регенерационному теплообменнику 18, благодаря которому осуществляется дополнительное охлаждение воздуха, расширяющегося в КОД1. Далее воздух, частично подогретый в регенераторе 18, используется в качестве сжимаемой среды, подводимой в КОД1 через окно 4.

Остаточная температура расширенного в КОД2 воздуха, отводимого через окно 7, а также остаточная температура сжатого в КОД2 воздуха, отводимого через окно 6, используется для предварительного подогрева нагнетаемого КОД1 воздуха посредством утилизационных теплообменников 16 и 17.

Основным потребителем механической энергии в рассмотренных устройствах (рис. 5, 6) является циркуляционный вентилятор 11, обеспечивающий необходимый перепад давлений в линиях высокого давления двух КОД. Причем с увеличением общего перепада давлений, создаваемого циркуляционным вентилятором, скорость течения потоков в линиях высокого

давления КОД1 и КОД2 и, следовательно, производительность холодильной машины возрастают.

Использование в представленных схемах организации рабочего процесса воздушной холодильной машины в качестве детандер-компрессора каскадного обменника давления позволяет значительно увеличить долю сжимаемого в детандер-компрессоре воздуха (до 60% общего расхода хладагента) в сравнении с ВХМ на базе волнового обменника давления, что в конечном счете позволяет снизить затраты энергии на производство холода.

Кроме того, применение каскадного обменника давления повышает надежность устройства и упрощает его конструкцию ввиду значительно более низких частот вращения ротора каскадных обменников давления ( $2000...3000 \text{ мин}^{-1}$ ) относительно частоты вращения ротора волнового обменника давления ( $8000...12000 \text{ мин}^{-1}$ ), позволяя снизить требования к точности обработки деталей ВХМ, их прочностным свойствам и качеству балансировки ротора.

Применение в качестве компенсационной ступени сжатия воздуха каскадного обменника давления вместо приводного нагнетателя (рис. 2) позволяет отказаться от использования в качестве основного энергетического источника рабочего цикла воздушной холодильной машины дорогостоящей механической энергии, применяя более доступную тепловую энергию. В этом случае затраты механической энергии ограничиваются в основном потреблением приводом вентиляторов.

Однако эффективность работы представленных на рис. 5 и 6 ВХМ КОД (так называемых ВХМ КОД с последовательным подключением КОД) несколько ограничивают повышенные затраты тепловой энергии на осуществление рабочего цикла вследствие подогрева в источнике подвода теплоты сжатого в КОД1 хладагента, температура которого, особенно при отсутствии регенерации, может быть довольно низкой.

Отмеченных недостатков лишена воздушная холодильная машина с КОД, принципиальная схема которой показана на рис. 7 (так называемая ВХМ КОД с параллельным подключением КОД).

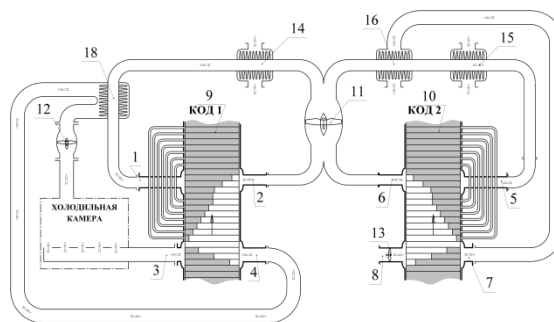


Рис. 7. Принципиальная схема воздушной холодильной машины:

1, 2 – соответственно окна подвода и отвода высокого давления детандера-компрессора; 3, 4 – соответственно окна отвода и подвода низкого давления детандера-компрессора; 5, 6 – соответственно окна подвода и отвода высокого давления КОД2; 7, 8 – соответственно окна отвода и подвода низкого давления КОД2; 9 – детандер-компрессор КОД1; 10 – компенсационная ступень сжатия воздуха КОД2; 11 – циркуляционный вентилятор; 12, 13 – соответственно продувочные вентиляторы КОД1 и КОД2; 14 – охладитель воздуха; 15 – источник подвода теплоты; 16 – утилизационный теплообменник; 18 – регенеративный теплообменник

Сжатый и предварительно охлажденный в охладителе воздуха воздух через окно 1 поступает в ячейки ротора КОД1, где, расширяясь, совершает работу сжатия воздуха, поступающего в КОД1 из холодильной камеры через окно 4.

Охлажденный до температуры ниже окружающей среды воздух через окно 3 посредством продувочного вентилятора направляется в холодильную камеру, в которой отбирает тепло от охлаждаемого объекта, а сжатый в КОД1 воздух отводится через окно 2 во входной тракт циркуляционного вентилятора 11, который повышает давление до уровня преодоления гидросопротивления элементов контура высокого давления. Из выходного тракта циркуляционного вентилятора 11 часть воздуха направляется в охладитель воздуха 14, а оставшаяся часть – в источник подвода теплоты 15, где в результате подвода теплоты его объемный расход и потенциальная энергия повышаются. Горячий воздух через окно 5 поступает в ячейки ротора КОД2, где в результате осуществления рабочего процесса каскадного обмена энергией сжимает свежий заряд, поступающий в КОД2 из атмосферы под действием вентилятора 13. Отдавший значительную часть потенциальной энергии сжимающий воздух через окно 7 отводится утилизационный теплообменник 16 и выбрасывается в атмосферу, а сжатый в роторе КОД2 воздух через окно 6 поступает во входной тракт циркуляционного вентилятора, компенсируя дефицит расхода хладагента.

**Выводы.** 1. Использование принципов каскадного обмена давлением для организации рабочего процесса воздушных холодильных машин раскрывает перспективу значительного повышения энергетической эффективности производства глубокого холода в установках, не содержащих озоноразрушающих хладагентов.

2. Каскадные обменники давления, представляющие собой новую разновидность энергообменных устройств и характеризующиеся высокой эффективностью обменных процессов наряду с простотой и высокой надежностью конструкции, позволяют создать бескомпрессорную воздушную холодильную машину на базе двух каскадных обменников давления, один из которых

работает в качестве детандер-компрессора, другой – компенсационной ступени сжатия воздуха.

3. Применение каскадных обменников давления позволяет использовать в качестве основного энергетического источника рабочего цикла воздушной холодильной машины преимущественно тепловую энергию, в том числе сбросную.

4. С учетом более низкой стоимости тепловой энергии относительно механической и электрической, особенно в условиях автономной эксплуатации установки, рабочий цикл ВХМ КОД позволяет реализовать существенно более высокие по сравнению с традиционными схемами ВХМ экономические показатели производства низкотемпературного холода.

#### Л и т е р а т у р а

1. А.с. 1495529 СССР, МКИ F04F11/02. Волновой обменник давления / А.И. Крайнюк, А.Г. Рыбальченко, В.П. Левчук, И.П. Васильев; ЛМСИ. – Заявл. 15.09.1987; Оpubл. 05.07.1989; Бюллетень № 27. – С. 146-147.
2. Croes N. Die Wirkungsweise der Taschen des druckwellenladers Compres // MTZ, 1979 – 40, № 2 – P. 91-97.
3. US Patent № 6138471, F25D 9/00, 31.10.2000. Device for air conditioning / Ermambetov V.S., Beleski A.
4. Крайнюк А.И., Сторчеус Ю.В. Системы газодинамического наддува. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 2000. – 224 с.
5. Каскадний обмінник тиску. Патент України № 77261А, МПК7 F02 B33/00 / Крайнюк О.І., Крайнюк А.О. – № 20040806986; Заявл. 21.08.2004; Оpubл. 15.11.2006, Бюл. № 11.

#### **Bryantsev M.A., Danileychenko A.A., Dotsenko D.M. ANALYSIS OF MODERN AIR CHILLERS**

*The features of air chillers (AC), which have a great potential for low-temperature cooling without the use of low-boiling working fluids, are analyzed. The direction of increasing the efficient operation and reliability of an air refrigeration machine through the use of a cascade-regenerative pressure exchanger (CPE) as an expander and the main compressor is considered. The features of the CPE working cycle are presented, which allow organizing the working cycle of the AC CPE, where the main energy source is thermal energy of various origins. Taking into account the lower cost of thermal energy relative to mechanical and electrical energy, especially in the conditions of autonomous operation of the installation, the operating cycle of the AC CPE makes it possible to realize significantly higher economic indicators of the production of low-temperature cold compared to traditional AC schemes.*

**Key words:** air cooler, regeneration, recuperation, expander, cooling capacity, pressure, heat.

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

**Bryantsev Maksim**, Senior Lecturer of the «Internal combustion engines», SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

**Danileychenko Alexander**, candidate of sciences, a dosent of the chair « Internal combustion engines», SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Доценко Данил Михайлович**, старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего

сгорания», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** 280376@rambler.ru

**Dotsenko Danil**, Senior Lecturer of the «Internal combustion engines», SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич**, д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения и инженерного консалтинга» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 05.03.2022*

УДК 629.7.036.3-253.5.004.15

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОКУПАЕМОСТИ ЗАТРАТ НА ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

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

## DETERMINATION OF THE COST RECOVERY FOR INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF COMPRESSOR BLADES OF GASTURBINE ENGINES

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

*Уровень эксплуатационной надежности изделий обеспечивается различными техническими решениями, среди которых повышение износостойкости поверхностей деталей играет значительную роль. В отношении компрессорных лопаток газотурбинных двигателей широкое распространение получили эрозионно стойкие упрочняющие покрытия на основе нитрида титана. Методы и технологии их нанесения постоянно совершенствуются, на что требуются существенные затраты, способные принести финансово-экономическую выгоду только в эксплуатации изделий. Предсказать величину такой выгоды возможно по математическим моделям, по ним же рассчитывается и окупаемость затрат. В ряде случаев подобные расчеты могут потребовать применения других, дополнительных математических проверочных моделей.*

**Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, лопатка, нитрид титана, износ, ремонт.

**Введение.** Повышение эксплуатационной надежности газотурбинных двигателей (далее – ГТД) предусматривает усиление эрозионной стойкости их компрессорных лопаток. Ожидаемые результаты такого усиления определяются математическим моделированием, однако они могут отличаться от экспериментальных данных [1], получение которых требует значительной эксплуатационной наработки ГТД или статистики ремонта большого числа двигателей. Избежать ошибок в расчетах без их проверки на практике позволяет контрольная математическая модель сторонней разработки.

**Анализ последних публикаций.** Для ГТД основным негативным фактором снижения эксплуатационной надежности является наличие во всасываемом в компрессор воздухе повышенного количества песка и пыли [2], вызывающих снижение расчетных характеристик компрессоров и ГТД в целом. Упрочняющие покрытия на компрессорных лопатках способны поддерживать заданную эффективность эксплуатации с достижением максимально полной выработки ГТД своих межремонтных ресурсов [3, 4, 5]. Рентабельность нанесения на лопатки таких покрытий зависит от

ряда факторов [6], уровень влияния которых возможно рассчитать только математическим путем.

**Целью исследования** является проверка разработанной авторами данной статьи математической модели другой, контрольной математической моделью, представленной в отраслевой нормативной документации.

**Материалы и результаты исследования.** По разработанной математической модели рассчитана окупаемость производственных затрат на повышение послеремонтной эксплуатационной эффективности ГТД. В модели учитываются расходы на закупку материалов, изготовление оснастки и затраты на нанесение на компрессорные лопатки ГТД разнопрофильных многослойных защитных покрытий на основе нитрида титана.

Цены на необходимые материалы определены по курсу валют на дату проведения расчетов. Изготовлена многоместная металлическая матрица с каждым местом под одну номенклатуру лопатки, представляющую шесть, с первой по шестую, ступеней ротора компрессора ГТД (суммарно 360 лопаток). На остальных ступенях компрессора лопатки достаточно малы по размерам, они полностью покрываются чередующимися слоями TiN и TiZrN.

Стоимость производственных затрат на укладку ПЭТ-сырья в матрицу под литье ПЭТ-заготовок  $C_{\text{укладки сырья под литье ПЭТ заготовок}}$  определена по формуле:

$$C_{\text{укладки сырья под литье ПЭТ заготовок}} = 60 \cdot (\Phi_{\text{6-местной матрицы}} \cdot (C_{\text{втор. ПЭТ сырья}} + P_{\text{укладки ПЭТ}})), \quad (1)$$

где  $\Phi_{\text{6-местной матрицы}}$  – количество укладок сырья в одну форму (емкость) матрицы для отливки одной ПЭТ-заготовки;

60 – количество раз использования матрицы для одного ротора компрессора (шестиместная матрица для 360 лопаток);

$C_{\text{втор.ПЭТ.сырья}}$  – стоимость дешевого вторичного ПЭТ-сырья для изготовления одной ПЭТ-заготовки в одной форме матрицы;

$P_{\text{укладкиПЭТ}}$  – стоимость работы исполнителя по укладке сырья в форму.

Полная стоимость изготовления ПЭТ-экранов  $C_{\text{ПЭТ.экранов}}$  равна сумме стоимостей изготовления матрицы и стоимости сырья для изготовления комплекта ПЭТ-заготовок экранов на лопатки ротора компрессора:

$$C_{\text{ПЭТ.экранов}} = C_{\text{изг.матрицы}} + 4 \cdot C_{\text{укладки.сырья.под.литье.ПЭТ.заготовок}}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{изг.матрицы}}$  – стоимость изготовления матрицы для литья;

4 – количество раз укладок ПЭТ-сырья в матрицу (для изготовления четырех ПЭТ-заготовок экранов для каждого защитного нанослоя).

Далее вычислены средние цены покрытия одной лопатки одним полным 100 % слоем нитрид титана  $C_{\text{TiN}}$  и слоем циркониевого нитрид титана  $C_{\text{TiZrN}}$ :

$$C_{\text{многосл.фиг.покр.}} = C_{\text{многосл.фиг.TiN}} + C_{\text{многосл.фиг.TiZrN}}, \quad (3)$$

где  $C_{\text{многосл.фиг.покр.}}$  – стоимость наложенных на все перо всех слоев фигурных покрытий на основе нитрид титана;

$C_{\text{многосл.фиг.TiN}}$ ,  $C_{\text{многосл.фиг.TiZrN}}$  – стоимость наложенных на спинку или корыто всех слоев того или иного фигурного покрытия на основе TiN.

$C_{\text{многосл.фиг.TiN/TiZrN}}$  вычислена по формуле:

$$C_{\text{многосл.фиг.TiN/TiZrN}} = 50\% \cdot C_{\text{TiN/TiZrN}} \cdot \left( \sum_s^{\text{спинка/корыто}} P_{\text{TiN/TiZrN}} \right), \quad (4)$$

где 50% – площадь одной стороны пера ко всей поверхности пера лопатки;

$C_{\text{TiN}}$ ,  $C_{\text{TiZrN}}$  – средняя цена покрытия одной лопатки одним полным 100 % слоем по формуле (34);

s – порядковый номер, очередность слоя;

$P_{\text{TiN}}$ ,  $P_{\text{TiZrN}}$  – площадь конкретного типа слоя на основе нитрид титана на одной стороне пера лопатки.

Размер площадей  $P_{\text{TiN}}$ ,  $P_{\text{TiZrN}}$  вычислен суммированием площади каждого отдельного участка i того или иного слоя:

$$P_{\text{TiN/TiZrN}} = \sum_i P_{i(\text{TiN/TiZrN})}, \quad (5)$$

где  $P_{i(\text{TiN/TiZrN})}$  – площадь участка i одного слоя конкретного покрытия, площадь определена по отдельным расчетам авторов исследования;

i – участок, зона покрытия.

Далее вычислены по отдельности стоимости всех слоев нитрид титана и всех слоев циркониевого нитрид титана, и их суммированием определена полная стоимость многослойного фигурного

защитного покрытия на одной усредненной лопатке компрессора ГТД.

Например, стоимость трехслойного покрытия  $C_{\text{3х.слойн.100\%}}$  определена по

$$C_{\text{3х.слойн.100\%}} = C_{\text{TiZrN}} + C_{\text{TiN}} + C_{\text{TiZrN}}, \quad (6)$$

где  $C_{\text{TiN}}$ ,  $C_{\text{TiZrN}}$  – цены соответствующих материалов слоев.

Затраты  $C_{\text{РКзатраты.3слой.100\%}}$  на нанесение трехслойного покрытия на все лопатки компрессора определены по формуле:

$$C_{\text{РКзатраты.3слой.100\%}} = N_{\text{лопаток.РК}} \cdot C_{\text{3х.слойн.100\%}}, \quad (7)$$

где  $N_{\text{лопаток.РК}}$  – количество лопаток на роторе компрессора ГТД;

$C_{\text{3х.слойн.100\%}}$  – цена однородного трехслойного покрытия на лопатке.

Стоимость фигурного трехслойного на пере (четырёхслойного на входной кромке) лопатки высокопрочного нанопокртия вычислена по формуле:

$$\begin{aligned} C_{\text{РКзатр.Фигурн.3слой.100\%}} = \\ = (N_{\text{лопаток.1÷6ст.РК}} \cdot C_{\text{многосл.фиг.покр.}}) + \\ + (N_{\text{лопаток.7÷12ст.РК}} \cdot C_{\text{3х.слойн.100\%}}), \end{aligned} \quad (8)$$

где  $C_{\text{РКзатр.Фигурн.3слой.100\%}}$  – суммарная цена нанесения многослойных фигурных покрытий на лопатки ротора компрессора;

$N_{\text{лопаток.1÷6ст.РК}}$  – количество лопаток с фигурными слоями, на которых применяются ПЭТ-экраны;

$C_{\text{многосл.фиг.покр.}}$  – цена фигурного многослойного покрытия, рассчитана по отдельной формуле;

$N_{\text{лопаток.7÷12ст.РК}}$  – количество лопаток с однородными слоями, на которых ПЭТ-экраны не применяются;

$C_{\text{3х.слойн.100\%}}$  – цена однородного многослойного покрытия по (6).

Для определения полных затрат  $C_{\text{РК.затраты}}$  к затратам на нанесение этих покрытий прибавлены затраты на изготовление ПЭТ-экранов:

$$C_{\text{РК.затраты}} = C_{\text{РКзатр.Фигурн.3слой.100\%}} + C_{\text{ПЭТ.экранов}}, \quad (9)$$

Указанные расчеты применимы только к первому двигателю  $C_{\text{РК.затраты.1дв.}}$ .

Для второго и последующих двигателей  $C_{\text{РК.затраты.н.дв.}}$  новое изготовление ПЭТ-экранов не требуется, поэтому

$$C_{\text{РК.затраты.н.дв.}} = C_{\text{РКзатр.Фигурн.3слой.100\%}}$$

Окупаемость  $O_{\text{ПЭТ.3слой.TiN/NiZrN}}$  изготовления (фактически  $O_{\text{ПЭТ.4слой.TiN/NiZrN}}$  по количеству защитных слоев на входной кромке пера лопатки), применения ПЭТ-экранов и наложения

разнопрофильных слоев защитных покрытий определяется через пропорцию:

$$\frac{C_{PK, \text{затраты.1дв.}} + (n-1) \cdot C_{PK, \text{затраты.н-1дв.}}}{n} \leq C_{PK, \text{затраты.3слоя.100\%}} \quad (10)$$

где  $n$  обозначает количество двигателей, на которых используются ПЭТ-экраны в процессе нанесения фигурных многослойных высокопрочных нанопокровов. Подставляя в формулу (10) вычисленные значения по указанной математической модели, при нанесении четырех профильных слоев на основе нитрид титана условие окупаемости всех указанных затрат имеет решение при  $n = 3$  (три двигателя). С четвертого двигателя производственные затраты будут составлять только расходы на непосредственно нанесение покрытий.

Для силовых установок, проходящих серийный ремонт с перспективой установления в эксплуатации MPP = 2000 часов по техническому состоянию, требуется наложение шести чередующихся слоев. В этом случае окупаемость  $O_{ПЭТ.6слоя.TiN/NiZrN}$  рассчитывается по формуле (10) с перерасчетом для шести слоев. Математические расчеты дают результат  $n = 3$ . Окупаемость  $O_{ПЭТ.6слоя.TiN/NiZrN}$  составляет также три двигателя.

Для контрольной проверки математических расчетов по формуле (10) применен расчет прогнозируемой себестоимости будущих ремонтов по экономико-математической модели, представленной в отраслевой нормативно-распорядительной документации [7].

Расчеты проведены на одном условном двигателе, проходящем на одном и том же ремонтном предприятии очередные ремонты, по формуле:

$$O_{с.п.} = 1 - 0,08 \cdot (t_{н.п.} - 3)^{1,14} \cdot 15^{-0,16(t_{н.п.}-3)}, \quad (11)$$

где  $O_{с.п.}$  – относительная себестоимость  $n$ -очередности ремонта ГТД;

$t_{н.п.}$  – срок в годах с начала нанесения покрытий до текущего  $n$  ремонта с нанесением этого же покрытия, который, в свою очередь, выражается через

$$t_{н.п.} = G_{н.п.} - G_{н.о.п.} + 1, \quad (12)$$

где  $G_{н.п.}$  – год начала очередного серийного ремонта двигателя с ранее нанесенным покрытием, среднестатистически длительность межремонтной эксплуатации вертолетов составляет: для MPP = 1500 часов – пять лет, для MPP = 2000 часов – семь лет (два дополнительных года эксплуатации на выработку продленного ресурса по техническому состоянию ТС);

$G_{н.о.п.}$  – год начала первого нанесения покрытия на компрессорные лопатки отремонтированного двигателя, принимается как 2010 год.

Таким образом, опуская вычисления разницы по годам,

для MPP=1500 часов:  $t_{н.п.1} = 6$ ,  $t_{н.п.2} = 11$ ,  $t_{н.п.3} = 16$ ,  $t_{н.п.4} = 21$  и т.д.;

для MPP по ТС = 2000 часов:  $t_{н.п.1} = 8$ ,  $t_{н.п.2} = 15$ ,  $t_{н.п.3} = 22$ ,  $t_{н.п.4} = 29$  и т.д.

Окончательное определение прогнозируемой себестоимости очередного ремонта силовой установки Сп.р. определяется как:

$$C_{п.р.} = C_{PK, \text{затраты.н-1дв.}} \cdot \frac{O_{с.п.п.}}{O_{с.п.-1.п.}}, \quad (13)$$

где  $C_{PK, \text{затраты.н-1дв.}}$  – себестоимость нанесения защитного покрытия без учета влияния стоимости ПЭТ-экранов, соответствует себестоимости, фактически начиная со второго двигателя;

$O_{с.п.-1.п.}$  – относительная себестоимость предшествующего  $O_{с.п.п.}$ .

После подставления значений  $t_{н.п.}$  в формулу (11) и дальнейшего преобразования формула (13) для четырех (1500 ч) и шести слоев (2000 ч по ТС) защитных нанопокровов имеет соответственно следующие выражения:

$$C_{п.р.1500} = 5296,98 \cdot \frac{O_{с.п.п.}}{O_{с.п.-1.п.}}, \quad (14)$$

$$C_{п.р.2000} = 9409,02 \cdot \frac{O_{с.п.п.}}{O_{с.п.-1.п.}}. \quad (15)$$

Тогда, опуская проведенные вычисления по (14) и (15), прогнозируемая себестоимость очередного ремонта  $C_{п.р.}$  с нанесением многослойных профильных чередующихся нанопокровов имеет следующие снижения цен ремонтов (рис. 1):

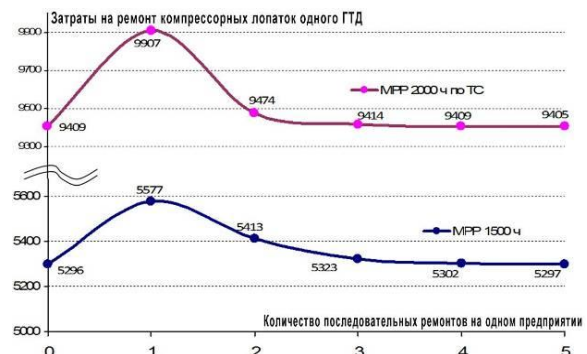


Рис. 1. Прогнозируемое изменение себестоимости нанесения покрытий на компрессорные лопатки при поступлении ГТД в очередные ремонты на тот же ремонтный завод

На основании прогнозируемой себестоимости очередных ремонтов перепроверена окупаемость затрат на нанесение на лопатки компрессоров ГТД высокопрочных многослойных профильных нанопокровов на основе нитрид титана. Для этого пропорция (10) предстает в виде:

$$\frac{C_{PK, \text{затраты.1дв.}} + \sum_{n=1}^{n-1} C_{PK, \text{затраты.н-1дв.}}}{n} \leq C_{PK, \text{затраты.3слоя.100\%}}, \quad (16)$$

Применяя расчеты по (11), расчетная окупаемость затрат по формуле (16) составляет четыре двигателя – на один двигатель больше, чем по расчетам (10), что в условиях серийности капитального ремонта ГТД следует считать совпадающим результатом, т.к. за среднестатистический год через серийный ремонт на предприятии проходят несколько десятков ГТД одного типа.

**Выводы.** 1 Расчеты, проведенные авторами статьи по разработанной ими математической модели, подтверждены результатами вычислений по внешней независимой математической модели, представленной в отраслевой нормативной документации на серийный заводской ремонт ГТД. Совпадение результатов позволяет утверждать о правильности разработанной модели и ее применимости к исследованиям по повышению защиты компрессорных лопаток ГТД многослойными профильными эрозионно стойкими чередующимися слоями на основе нитрид титана.

2 С целью снижения себестоимости ремонтов ГТД с нанесением на компрессорные лопатки высокопрочных защитных покрытий необходимо направлять двигатели в очередные ремонты на то предприятие, которое выполняло предыдущий ремонт.

### Л и т е р а т у р а

1. Звонарев С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие / С. В. Звонарев. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 112 с. – С. 22 – 26.
2. Павленко Д.В. Закономерности изнашивания рабочих лопаток компрессора вертолетных двигателей, эксплуатирующихся в условиях запыленной атмосферы. / Павленко Д.В., Двирник Я.В. // Вестник двигателестроения. Технология производства и ремонта. – М., 2016. – № 1. – С. 43.
3. Медведев В.М. Развитие концепции эксплуатации изделий / В.М. Медведев, В.И. Мищенко, Н.Г. Солоха / Технические науки. Вестник ОГУ № 85, апрель 2008. С. 149 – 157. [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitiie-kontseptsii-ekspluatatsii-izdeliy/viewer>.
4. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. – (В пер.). Т. 3: Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – 328 с.: ил. С.15.
5. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. – (В пер.). Т. 1: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А.И. Рембезы. – 224 с.: ил. С. 179.
6. Быкадоров В.В. Повышение ремонтпригодности компрессорных лопаток с защитными покрытиями при техническом обслуживании газотурбинных двигателей: монография (Электронное издание) / Быкадоров В.В., Данилейченко А.А., Любченко Д.И. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2019. – 110 с. Табл.: 1. Граф.: 1. Ил.: 67. Библиогр.: 42 назв. С. 44 – 63.
7. Методика определения себестоимости ремонта самолетов, вертолетов и авиационных двигателей на авиационных ремонтных предприятиях в зависимости от

времени их поступления в очередной ремонт / Выпуск № 6084. – М., 1989. – 20 с.

### **Bykadorov V.V., Danileichenko A.A., Lyubchenko D.I. DETERMINATION OF THE COST RECOVERY FOR INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF COMPRESSOR BLADES OF GASTURBINE ENGINES**

*The level of operational reliability of products is provided by various technical solutions, among which increasing the wear resistance of the surfaces of parts plays a significant role. With regard to compressor blades of gasturbine engines, erosion-resistant reinforcing coatings based on titanium nitride have become widespread. Methods and technologies of their application are constantly being improved, which requires significant costs that can bring financial and economic benefits only in the operation of products. It is possible to predict the magnitude of such a benefit using mathematical models, and the cost recovery is calculated using them. In some cases, such calculations may require the use of other, additional mathematical models.*

**Key words:** gasturbine engine, blade, titanium nitride, wear, overhaul.

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

**Bykadorov Vadim**, candidate of technical sciences, a docent, director of the institute of transport and logistics, SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Данилейченко Александр Анатольевич**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой двигателей внутреннего сгорания Института транспорта и логистики, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** 280376@rambler.ru

**Danileichenko Alexandr**, candidate of technical sciences, a docent, head of the department «Internal combustion engines», SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Любченко Дмитрий Иванович**, старший преподаватель кафедры двигателей внутреннего сгорания, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** vottako@rambler.ru

**Lyubchenko Dmitriy**, postgraduate student in the direction of training 06.23.01 Engineering and technologies of land transport, senior lecturer of the department «Internal combustion engines», SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Киреев Андрей Николаевич**, д-р техн. наук, профессор Института транспорта и логистики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля».

Статья подана 02.03.2022

УДК 621.43

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ ПУТЁМ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАМЕРОВ

Васильев И.П., Грубич П.С., Батиевский И.С.

## INCREASE IN ACCURACY OF DETERMINATION OF SMOKE OF THE EXHAUST BY AUTOMATION OF MEASUREMENTS

Vasilyev I.P., Grubich P.S., Batiyevsky I.S.

*Статья посвящена определению дымности отработавших газов дизелей. Контроль их выбросов является важной задачей сохранения здоровья людей. Для замера дымности при использовании фильтров необходимо удаление влаги из фильтра до и после отбора, взвешивание, определение расхода газа и приведение его к нормальным условиям. Поэтому наиболее простым способом определения дымности является просвечивание столба газа. Но при низких температурах в измерительной камере ниже точки росы частицы влаги фиксируются, как частицы сажи. Для устранения этого явления предлагается использовать дымомер с регулируемым нагревом измерительной камеры.*

**Ключевые слова:** отработавшие газы, дымность, фильтры, дымомер.

**Введение.** Одним из способов борьбы с парниковым эффектом является контроль различных вредных выбросов. Этот контроль включает мониторинг дымности отработавших газов. Существует большое количество различных способов определения дымности. В данной работе рассматривается определение дымности такими способами: отбор на фильтры и просвечивание отработавших газов. Для каждого из них характерны недостатки и преимущества, которые рассмотрены в этой работе. Делается вывод, что в настоящее время наиболее эффективным способом является определение дымности с помощью просвечивания с элементами автоматизации замера. И чтобы исключить осаждение влаги в измерительной камере, необходимо предусмотреть систему подогрева измерительной камеры с возможностью поддержания температуры в определенном диапазоне.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Ввиду актуальности этой темы в мире различными исследователями разработаны разные способы определения дымности отработавших

газов. Наиболее полно это представлено в работе [1]. В ней рассмотрены стандарты на выбросы нормируемых токсичных веществ, уточнены условия получения представительных проб частиц, позволяющие избежать конденсации водяных паров.

Исследованиями в этом направлении занимались в нашем университете в сотрудничестве с Центральным научно-исследовательским, автомобильным и автотранспортным институтом (ЦНИДИ) д.т.н. В.А. Звонов, к.т.н. А.П. Поливянчук, к.т.н. А. В. Козлов.

Следует отметить следующие работы в этом направлении [2, 3]. Уделялось внимание замеру дымности на тепловозах [4-5]. Оценивались различные характеристики сажевых частиц [6-9].

**Целью исследования** является сравнение двух способов определения дымности отработавших газов: отбор на фильтры и просвечивание столба газа. Рассмотрены основные недостатки и преимущества этих способов.

Материалы и результаты исследования. Рассмотрим классический способ отбора отработавших газов на фильтры. В этом случае используется следующая схема (рис. 1).

Сущность способа заключается в отборе сажи (дисперсных частиц) на фильтры с последующим их взвешиванием до и после отбора. Образец фильтра после отбора сажи представлен на рис. 2.

Вначале фильтр обезвоживается в специальной емкости и помещается в специальный патрон, через который пропускается контролируемый с помощью ротаметра объем газа, приведенный к нормальным условиям. После отбора фильтр обезвоживается и взвешивается в оговоренных условиях. Концентрация сажи в ( $\text{г/см}^3$ ) определяется, как частное от деления массы сажи на объем прокаченного газа, приведенного к нормальным условиям.

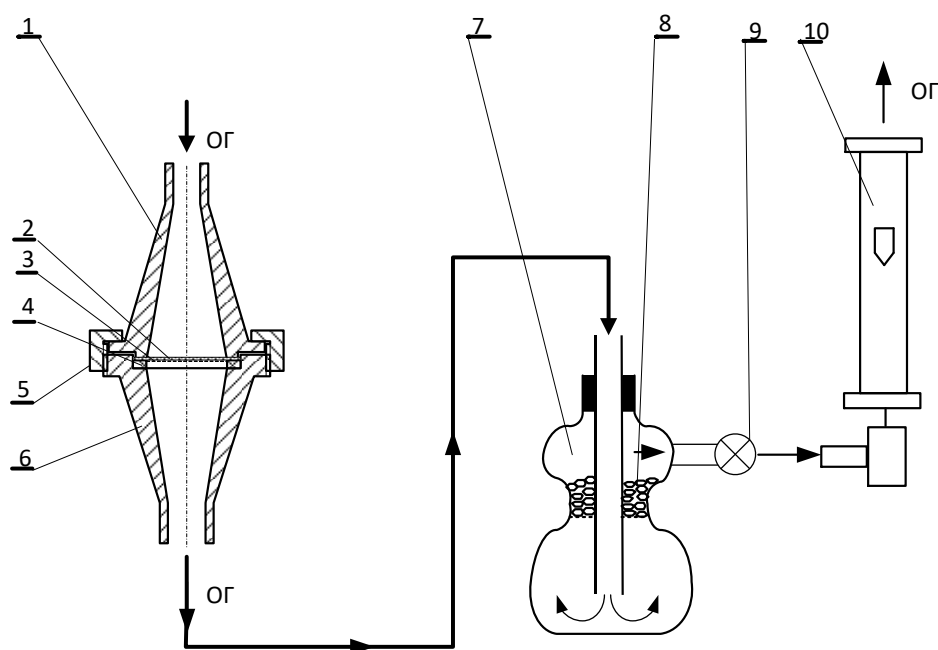


Рис. 1. Схема отбора сажи на фильтр:

1 – входной диффузор; 2 – фильтр типа АФА; 3 – сетка; 4 – уплотнительное кольцо; 5 – накидная гайка; 6 – выходной конфузор; 7 – влагоотбойник; 8 – влагопоглощающее вещество; 9 – регулировочный кран; 10 – ротаметр



Рис. 2. Отбор сажи на фильтр типа АФА диаметром 20 мм при работе дизеля на дизельном топливе (концентрация сажи 0,238 мг/л)

Основные недостатки способа:

- высокая длительность процесса измерения, до двух суток;
- необходимость обезвоживания фильтров до и после отбора, в присутствии влагопоглощающего вещества: концентрированной серной кислоты, прокалённые хлористый кальций или силикагеля;
- контроль расхода газа, который перед замером необходимо пропускать через влагопоглощающее вещество;
- взвешивание фильтров без присутствия влаги, желательно в закрытой от влаги емкости, например, в сушильном шкафу;

- контроль температуры газа на входе в патрон с фильтром, чтобы исключить прогар фильтра;
- приведение расхода газа к нормальным условиям (барометрическому давлению 760 мм рт ст и температуре 293 К).

К преимуществам отбора на фильтры можно отнести возможность анализа отобранной на фильтр сажи на содержание различных веществ (углеродной фракции и различных металлов) [9].

Могут использоваться фильтры разного диаметра. Для них изготовлены соответствующие патроны. Образец такого патрона приведен на рис. 3.



Рис. 3. Патрон для использования фильтра типа АФА диаметром 10 мм

Кардинальным способом устранения указанных недостатков является использование дымомера, принцип работы которого основан на просвечивании столба измеряемого газа.

Дымомер был разработан сотрудниками кафедры ДВС А. П. Дядиным, Ю. К. Бодровым. После ряда доработок он серийно выпускался. Последняя марка дымомера ИДС-3С представлена на рис. 4.

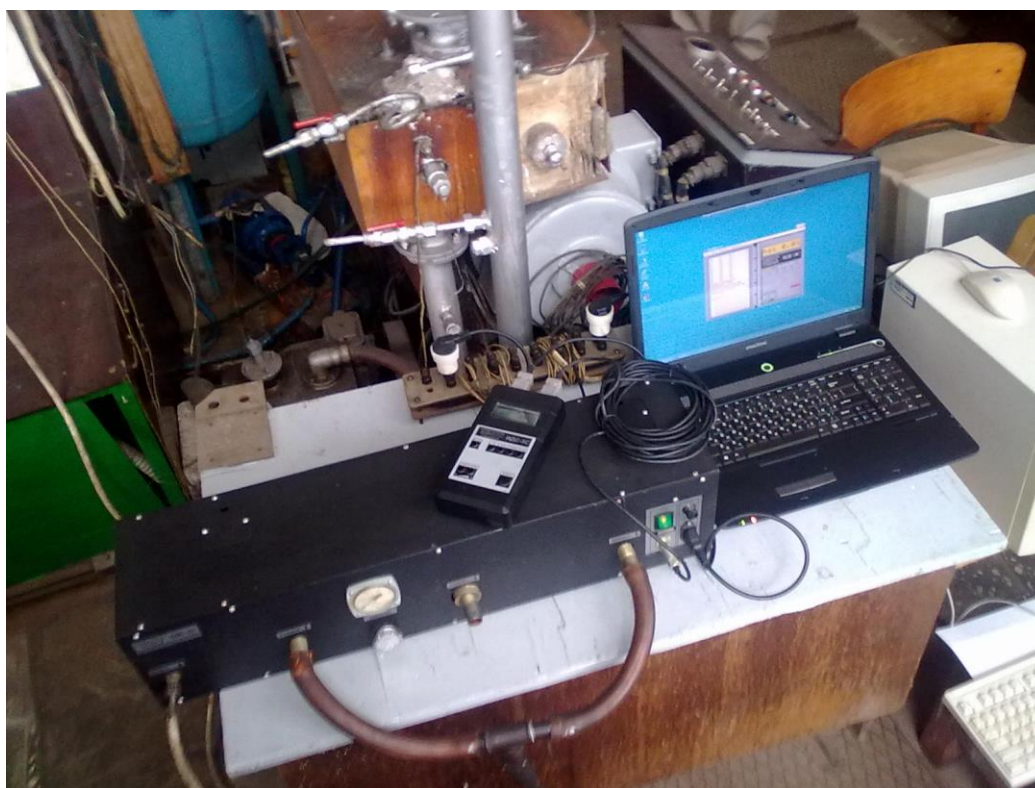


Рис. 4. Дымомер ИДС 3С

На первой стадии доводки прибора приходилось регулировать «0» (источник света в дымомере выключен) и «100» (источник света в дымомеры включен). При этом эти показания «плыли», что не обеспечивало стабильность регулировки во времени. И за время замера регулировочные показатели могли существенно изменяться. Необходимо было вручную замерять расход газа и его температуру и затем приводить расход газа к нормальным условиям.

Данная задача была решена кардинально следующим образом. Перед каждым замером (он включал определение дымности 20 раз за цикл) осуществлялся автоматический замер температуры с помощью термопары, а затем приведение показаний

к температуре 100°C (393 K). Это существенно ускоряло и упрощало процесс замера. Показания усреднялись и выводились на экран. При этом мог быть вывод всех 20 замеров как в стационарном, так и дискретном режиме работы дымомера.

Но при этом оставался такой недостаток. При температуре в измерительной камере ниже точки росы (52°C) происходило осаждение влаги в виде капель, которые фиксировались как частицы сажи.

Для устранения этого явления было предложено использовать регулируемый подогрев измерительной камеры. Схема усовершенствованного дымомера представлена на рис. 5.

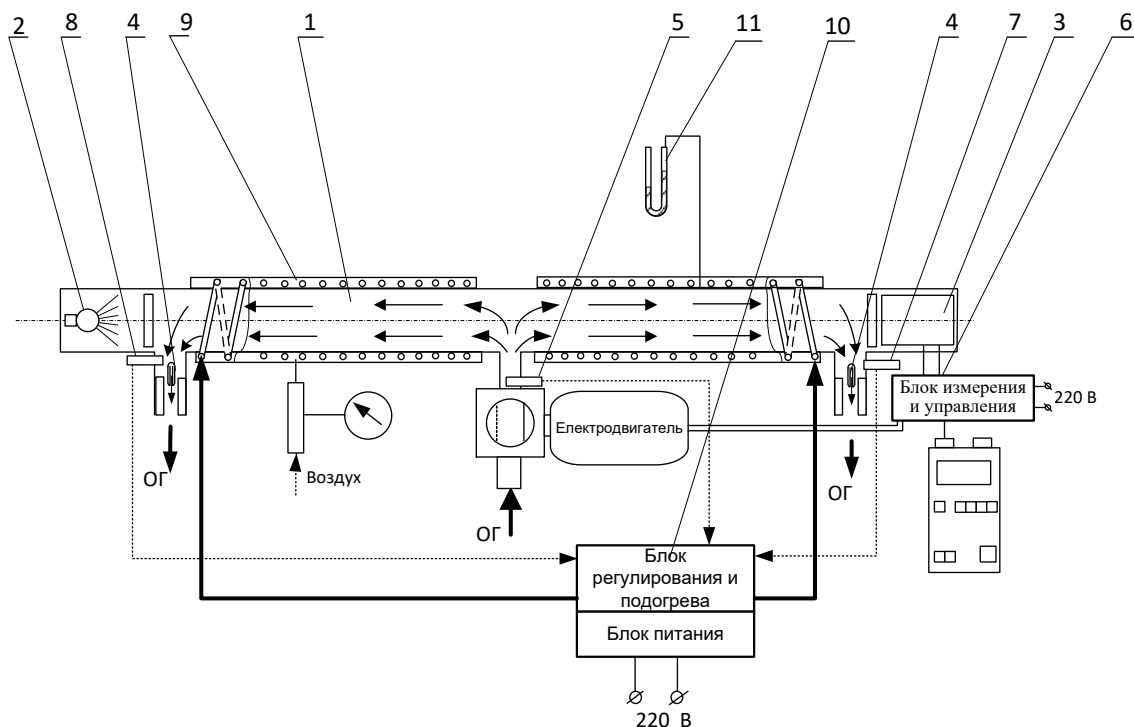


Рис. 5. Дымомер с регулируемым подогревом измерительной камеры:

1 – измерительная камера; 2 – источник света; 3 – фотоприемник; 4 – побудитель расхода; 5 – термопара; 6 – блок измерения и управления; 7, 8 – термопары; 9 – нагревательный элемент; 10 – блок регулирования нагревателя; 11 – U-образный манометр

Устройство состоит из измерительной камеры 1 к торцам которой крепиться источник света 2 и фотоприемник 3 и расположен побудитель расхода 4, при этом на входе в измерительную камеру 1, расположена термопара 5, а на выходе из измерительной камеры расположены термопары 7 и 8. На измерительной камере 1 расположен нагревательный элемент 9, соединенный с блоком регулирования подогрева 10.

Устройство работает следующим образом. При подключении побудителя расхода 4 отработавший газ подается в измерительную камеру 1 и фиксируется температура отработавших газов на входе в измерительную камеру 1 термопарой 5. Если температура отработавших газов на входе меньше  $52^{\circ}\text{C}$ , то включается нагреватель 9, и далее температура отработавших газов фиксируется на выходе из измерительной камеры 1 термопарами 7 и 8. При превышении температуры этими термопарами выше  $100^{\circ}\text{C}$  нагреватель отключается через блок управления 10. При таком режиме происходит просвечивание столба отработавших газов от источника света 2 и фиксация на фотоприёмнике 3 с дальнейшей регистрацией на блоке измерения и управления 6. При этом не происходит осаждение частиц влаги и не вносятся погрешность.

**Выводы.** Проведенные исследования показывают расширение возможностей анализа отработавших газов по определению дымности за

счёт автоматизации замеров. Это приводит к значительному ускорению анализов. При этом не исключаются отборы на фильтры, которые позволяют более глубоко проанализировать состав сажи.

### Л и т е р а т у р а

1. Звонов В.А. Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В.А. Звонов, Г.С. Корнилов, А.В. Козлов, Е.А. Симонова. – М.: Прима Пресс-М, 2005. – 312 с.
2. Васильев И.П. Метрологическое обеспечение при создании дымометров с целью повышения точности замеров / И.П. Васильев, П.П. Мыгаль, Н.А. Рябоконь // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и технической безопасности: материалы VIII Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 19-24 апреля 2021 г. / под общей редакцией Н.Ю. Ермиловой, И.Е. Степановой; М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Волгогр. гос. техн. ун-т. Волгоград: ВолгГТУ, 2021. – С. 397-399.
3. Бодров А.Ю. Разработка дымометра отработавших газов дизеля с улучшенными характеристиками / А.Ю. Бодров, И.П. Васильев // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. Материалы II Молодёжной международной научно-практической конференции "Молодые учёные - альтернативной транспортной энергетике" (Воронеж, 17-18 декабря 2015 года). – Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2015. – Т. 2. № 2. – С. 560-563.

4. Дядин А.П. Разработка дымомеров для замера дымности тепловозных дизелей / А.П. Дядин, И.П. Васильев // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля. – 2008. ч. 1. – № 5 (123). – С. 131-135.

5. Бодров А.Ю. Совершенствование дымомера для использования на реостатных испытаниях тепловозов / А.Ю. Бодров, И.П. Васильев // Актуальные вопросы науки и техники: Материалы Международной студенческой научно-практической конференции (Воронеж, 16 июня 2015 г.) / Под ред. А. А. Платонова. – Воронеж: Руна, 2015. – № 2. – С. 26-30.

6. Васильев И.П. Методика определения дымности и дисперсности сажевых частиц отработавших газов дизеля при работе на биодизеле // Приоритетные направления науки и техники, прорывные и критические технологии: "Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики" – (ЭЭТПЭ–2007) Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Под ред. Д. Д. Матиевского, П. К. Сеначина / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, 17-20 октября 2007 г. – Барнаул: ОАО "Алтайский дом печати", 2007. – С. 62-63. (138 с.)

7. Семёнов В.Г. Васильев И.П. Методика определения углеродной фракции частиц в отработавших газах дизеля при работе на биодизельном и дизельном топливе // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Сер. Машиностроение. – 2008. – № 3 (72). – С. 123-124.

8. Парсаданов И.В. Определение состава твердых частиц отработавших газов дизелей / И.В. Парсаданов, И.П. Васильев // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: ХПИ, 2013. – № 2. – С. 97-101.

9. Олейник Н.В. Влияние содержания тяжелых металлов в топливах растительного происхождения на вредные выбросы с отработавшими газами дизелей / Н.В. Олейник, Л.Г. Зубова, И.П. Васильев / Вісн. Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля. – 2007. – ч. 1. – № 8 (114). – С. 161-165.

**Vasilyev I.P., Grubich P.S., Batiyevsky I.S.**  
**INCREASE IN ACCURACY OF DETERMINATION OF SMOKE OF THE EXHAUST BY AUTOMATION OF MEASUREMENTS**

*Article is devoted to determination of smoke of the exhaust gas of diesels. Control of their emissions are an*

*important problem of saving of human health. The measurement of smoke when using filters requires removal of moisture from the filter before selection, weighing, definitions of a gas rate and its reduction to normal conditions. Therefore the easiest way of determination of smoke is raying of a column of gas. But at low temperatures in the measuring camera below a dew point of a particle of moisture are fixed as soot particles. For elimination of this phenomenon it is offered to use the smoke meter with adjustable heating by the measuring camera.*

**Key word:** exhaust gas, smoke, filters, smokemeter.

**Васильев Игорь Павлович**, к.т.н., доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** vasilevkr@gmail.com

**Vasyliov Igor**, associate professor "Internal combustion engines" Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Грубич Полина Сергеевна**, студентка группы ТЛ-1а11, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** looklikegrubich@gmail.com

**Grubich Polina**, student of group ТЛ-1а11 of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Батиевский Игорь Сергеевич**, студент группы ТЛ-801м, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** igor.htc.bot@gmail.com

**Batiyevsky Igor**, student of the group ТЛ-801м of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Сёмин Дмитрий Александрович**, д.т.н., профессор кафедры "Гидрогазодинамика", ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 28.02.2022*

УДК 656.2

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕОБОРУДОВАНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЗОВ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Дмитриенко А.Б., Атрошенко Д.В., Витренко С.Н.

### TECHNICAL RE-EQUIPMENT OF MAINLINE DIESEL LOCOMOTIVES FOR OPERATION IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

Dmitrienko A.B., Atroshenko D.V., Vitrenko S.N.

Статья посвящена возможности проведения переоборудования магистральных тепловозов для работы в условиях предприятий с тяжелым путевым хозяйством (разбитые пути, малый радиус проходимых кривых, большой износ рельс с недостаточной подсыпкой оснований под шпалы и т.д.). Все это приводит к тому, что скорость подвижного состава будет не более 40 км/ч. Переоборудование магистральных тепловозов позволит снизить длительную скорость до 12 км/ч, а максимальную – до 50 км/ч, с сохранением максимально высокого коэффициента полезного действия (КПД) тепловоза, что экономит дизельное топливо на всех режимах работы дизеля, вплоть до скорости 20 км/ч.

**Ключевые слова:** изделия, комплектующие, подвижной состав, тепловоз, силовой кабель, дизельное топливо.

**Введение.** В настоящее время парк промышленного железнодорожного транспорта (карьеры, горные разработки, предприятия химической и металлургической промышленности, порты и т.д.) зачастую представлены магистральными тепловозами 2ТЭ116, 2ТЭ10У и их модификациями. Эти тепловозы проектировались для работы на железнодорожных магистралях с максимальной скоростью 100 км/ч и с минимальной скоростью (максимальным весом, максимальной мощностью) 25 км/ч.

**Цель работы** – перейти с работы двухсекционных магистральных тепловозов на работу обеих секций на одном дизеле – 2ТЭ116 (2ТЭ10У) на тягу с 12-ю тяговыми электродвигателями (ТЭД), т.е. произвести модернизацию (переоборудование). Результат такой модернизации дает возможность перевозить такой же вес на одном дизеле, как и с двумя дизелями, но со скоростью в два раза меньшей во всем диапазоне скоростей штатного тепловоза.

**Изложение основных материалов.** Учитывая сложный профиль путей, их кривизну и состояние, особенно это касается в большей части промышленных предприятий, где износ путей наиболее выражен, максимальная скорость подвижного состава составит не более 40 км/ч. Это

приводит к тому, что на таких скоростях дизель будет работать на половине максимальных оборотов, т.е. с частичной мощностью не более 50% мощности дизеля и при КПД ниже 29% это будет приводить к значительному перерасходу дизельного топлива (рис. 1 [1]).

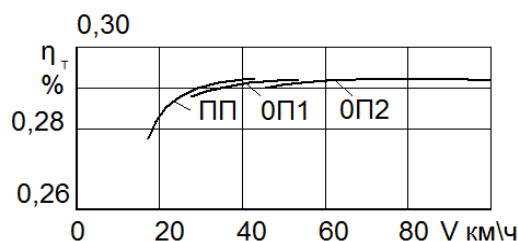


Рис. 1. Коэффициент полезного действия тепловоза 2ТЭ116, где ПП – полное поле; ОП1, ОП2 – ослабленные поля

Из рис.1 видно, что при снижении скорости тепловоза происходит снижение его КПД. Это происходит по причине того, что со снижением скорости тепловоза растет тяговый, а это приводит к быстрому нагреву обмоток тягового двигателя, т.е. к потере энергии, а энергия которая тратится на нагрев электрических машин, затрачивается из дизельного топлива.

$$P = I^2 * r, \quad (1)$$

где  $P$  – мощность потерь на нагрев ТЭД;

$I$  – ток тягового двигателя;

$r$  – омическое сопротивление обмоток тягового двигателя и главного генератора.

На переоборудованном тепловозе КПД при скорости 20 км/ч (рис. 2), будет таким же, как на штатном тепловозе при скорости 40 км/ч, что вытекает из рис. 1, так как в обоих случаях тяговый ток одинаков.

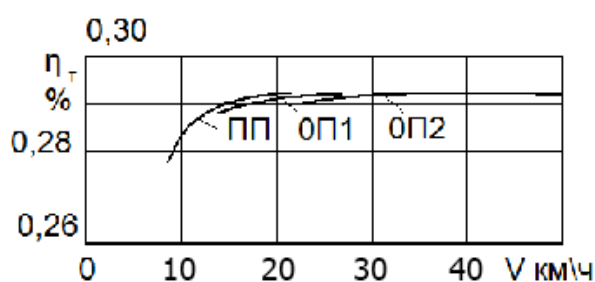


Рис. 2. Коэффициент полезного действия переоборудованного тепловоза 2ТЭ116, где ПП – полное поле; ОП1, ОП2 – ослабленные поля

Итак, исходя из вышесказанного, приведем стандартную схему подключения ТЭД магистрального тепловоза 2ТЭ116 (2ТЭ10У) для одной секции. Схема представлена на рис. 3 [2].

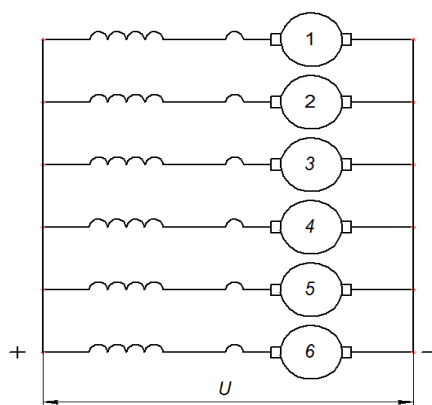


Рис. 3. Схема подключения ТЭД магистрального тепловоза 2ТЭ116, 2ТЭ10У для одной секции

**Результаты исследований.** Согласно заявленной цели работы, представим модернизированную схему подключения ТЭД магистрального тепловоза 2ТЭ116 (2ТЭ10У) для одной секции (рис. 3).

Такая схема (рис. 4) будет отличаться от стандартной схемы подключения ТЭД, показанной на рис. 3, на схему подключения 12 ТЭД к одному дизель-генератору и позволит сохранить максимальный КПД тепловоза, при снижении от максимальной скорости, 50 км/ч, до скорости 20 км/ч.

Из теории электрических машин известно, что скорость вращения электродвигателя постоянного тока прямо пропорционально зависит от подводимого напряжения [3], т.е.:

$$n = (U - IaR)/Ce\Phi \quad (2)$$

где  $n$  – скорость вращения электродвигателя;

$U$  – подводимое напряжение к электродвигателю;

$IaR$  – произведение тока якоря, на сопротивление обмотки якоря;

$Ce$  – электрохимическая машинная постоянная;

$\Phi$  – магнитный поток двигателя.

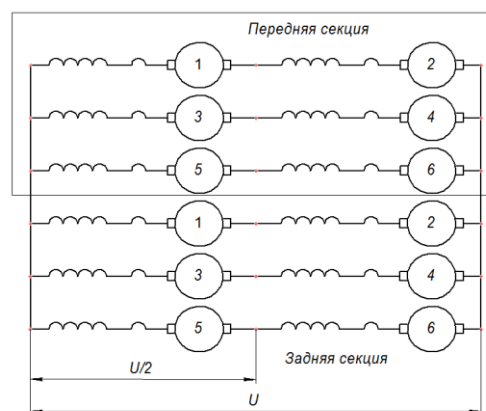


Рис. 4. Модернизированная схема подключения ТЭД магистрального тепловоза 2ТЭ116 (2ТЭ10У) для работы с одним дизелем на 12 ТЭД двух секций

Следовательно, чтобы снизить скорость вращения тягового электродвигателя, а значит, соответственно уменьшить скорость состава в два раза, нужно подводимое напряжение к ТЭД уменьшить в два раза. Этого можно достичь, изменив стандартную схему подключения шести тяговых электродвигателей одной секции на схему подключения (рис. 4) двенадцати ТЭД в шесть параллельных ветвей по два ТЭД – последовательно, т.е. при том же тяговом токе напряжение на одном ТЭД уменьшится в два раза, что позволит сохранить мощность дизель-генератора (ДГ), при этом включено по два ТЭД последовательно.

Основные работы при переоборудовании магистрального тепловозов 2ТЭ116, 2ТЭ10У:

- установка реверсоров в высоковольтной камере (ВВК) магистральных тепловозов;
- изготовление силовых кабелей (сечение кабеля - 240 мм<sup>2</sup>);
- подключение силовых кабелей к соответствующему оборудованию;
- прокладка силовых кабелей в кормовую часть тепловоза;
- изготовление и подключение силовых кабелей межтепловозного соединения;
- настройка работоспособности дополнительного электрооборудования;
- настройка характеристик переоборудованных тепловозов на реостатной станции.

**Выводы.** Снижение расхода топлива происходит по причине того, что при скорости 20 км/ч КПД тепловоза остается на уровне, близком к максимальному (около 29%), и только при снижении скорости менее 20 км/ч. КПД тепловоза начинает снижаться. Модернизация магистральных тепловозов 2ТЭ116, 2ТЭ10У позволит значительно экономить дизельное топливо при работе их в

условиях промышленных предприятий, где максимальная скорость тепловозов не превышает 40 км/ч. В процентном отношении экономия дизельного топлива составит около 8%.

Если появится необходимость перевести работу тепловоза в магистральный режим, достаточно машинисту тепловоза переключить соответствующий тумблер.

#### Л и т е р а т у р а

1. Тепловоз 2ТЭ116 / С.П. Филонов, А.И. Гибалов, В.Е. Быковский и др., 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 328 с.

2. Е.Я. Гаккель, К.И. Рудая. Проектирование и расчет электрической передачи тепловоза. – М., «Транспорт», 1972. – 152 с.

3. В.С. Хвостов. Электрические машины: Машины постоянного тока: Учеб. для студ. электром. спец. вузов / Под ред. И.П. Копылова. – М.: Высш. шк., 1988. – 336 с.

#### **Dmitrienko A.B., Atroshenko D.V., Vitrenko S.N. TECHNICAL RE-EQUIPMENT OF MAINLINE DIESEL LOCOMOTIVES FOR OPERATION IN INDUSTRIAL ENTERPRISES**

*The article is devoted to the possibility of re-equipment of main diesel locomotives for operation in the conditions of enterprises with heavy track facilities (broken tracks, small radius of passable curves, high wear of rails with insufficient filling of bases for sleepers, etc.). All this leads to the fact that the speed of the rolling stock will be no more than 40 km/h. Re-equipment of main diesel locomotives will reduce the continuous speed to 12 km/h, and the maximum speed to 50 km/h, while maintaining the highest possible efficiency factor (COP) of the diesel locomotive, which saves diesel fuel in all diesel operating modes, up to a speed of 20 km/h.*

**Key words:** *products, components, rolling stock, diesel locomotive, power cable, diesel fuel.*

**Дмитриенко Александр Борисович**, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** a.dmitrienko71@mail.ru

**Dmitrienko Alexandr**, senior lecturer of the department of "Railway transport", SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Атрошенко Денис Валерьевич**, ассистент кафедры «Автомобильный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** denis\_mihalich@mail.ru

**Atroshenko Denis**, assistant of the Department of "Automobile transport", SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Витренко Сергей Николаевич**, ведущий инженер отдела главного энергетика ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** sergeyvitrenko12@gmail.com

**Vitrenko Sergey**, Leading Engineer of the Department of the Chief Power Engineer of the SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Замота Тарас Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Автомобильный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 20.05.2022*

УДК 621.926

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ВЫСОТЫ ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКИ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОГО УСТРОЙСТВА ОТ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ

Жижкина Н.А., Турушина Н.В.

### EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE HEIGHT OF THE AIR CUSHION OF THE PNEUMATIC TRANSPORT DEVICE ON THE MAIN FACTORS

Zhizhkina N.A., Turusina N.V.

*Статья посвящена актуальной теме по разработке новых эффективных и менее энергоёмких способов работоспособности транспортирующего конвейера с воздушной подушкой при определении зависимости высоты воздушной подушки от основных факторов. Приведены методика и результаты экспериментальных исследований зависимости от конструктивных и технологических факторов высоты воздушной подушки пневмотранспортного устройства, размещенного в блоке стеллажного склада. Экспериментальные исследования проводились с использованием методов математического планирования экспериментов и обработки результатов опытов. Установлена зависимость высоты воздушной подушки в крайних точках опорной поверхности поддона от величины смещения центра тяжести и конструктивных параметров конвейера.*

**Ключевые слова:** стеллажный склад, воздушная подушка, пневмотранспортное устройство, планирование эксперимента, экспериментальная установка.

**Введение.** Основными средствами механизации транспортно-складских работ в зоне хранения стеллажных складов являются краны-штабелеры и вилочные погрузчики. Для их использования в зоне хранения необходимы значительные вспомогательные площади, что снижает коэффициент использования общей площади, эффективность использования складского объема.

Эффективность использования склада можно значительно повысить, оптимизируя основную зону хранения за счет уменьшения вспомогательной площади (проходов и проездов). Достичь этого возможно путем устранения механизмов из зоны хранения, работающих в межстеллажном пространстве. Замена погрузочно-разгрузочных механизмов системой транспортных средств с воздушной подушкой позволит 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.

Таким образом, создание эффективной транспортной системы в зоне хранения стеллажного склада с использованием пневмотранспортного устройства является актуальной задачей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Проведенный анализ существующих конструкций и результатов исследований рабочего процесса конвейера с воздушной подушкой показал, что применение существующих методик расчёта технико-экономических показателей нерационально или не представляется возможным, так как процесс перемещения поддона с грузом 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].

В данной работе рассмотрены экспериментальные исследования зависимости высоты воздушной подушки пневмотранспортного устройства от основных факторов, которые необходимо учитывать при разработке этого устройства для определенных грузов и условий эксплуатации для стеллажного способа хранения, применение которых позволяет на стадии проектирования повысить эффективность и уровень автоматизации обработки складских материалопотоков [3].

**Целью** данной работы являются экспериментальные исследования зависимости высоты воздушной подушки пневмотранспортного устройства при внецентренном расположении груза на поддоне и действии в режиме разгона от конструктивных факторов.

**Материалы и результаты исследования.** Исследования проводились на экспериментальной установке (рис. 1), представляющей собой ресивер коробчатой конструкции (2), установленный на

четырёх ножках (1) с регулировочными винтами (4), для придания исследуемой несущей плите строго горизонтального положения. Плиты с необходимым набором цилиндрических питающих каналов (3) устанавливались на ресивере и закреплялись болтами. Сжатый воздух в ресивер подавался высоконапорным вентилятором через редуктор-влагоотделитель (5), регулировочный вентиль (6) и ротаметр (7), с помощью которого определялся расход воздуха. Давление в ресивере измерялось с помощью манометра (8). Поддон с грузом имитировался пластмассовой плитой (9) размером 200×300 мм с закрепленными по углам индикаторами часового типа и установленной на ней гирей, перемещением которой создавался необходимый эксцентриситет центра тяжести относительно центра поддона. С помощью шнура плита соединена с концом тензобалки, измеряющей тяговое усилие, на которой наклеены тензорезисторы. Сигнал с тензорезисторов регистрировался с помощью аналого-цифрового преобразователя и персонального компьютера. Камера на опорной поверхности плиты создавалась путем наклеивания узких полос соответствующей толщины по краям опорной поверхности.

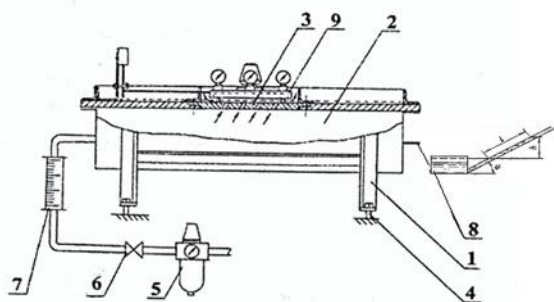


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – ножки установки; 2 – ресивер коробчатой конструкции; 3 – цилиндрические питающие каналы; 4 – регулировочные винты; 5 – редуктор-влагоотделитель; 6 – регулировочный вентиль; 7 – ротаметр; 8 – манометр; 9 – пластмассовая плита

В качестве исследуемых факторов, оказывающих влияние на высоту воздушной подушки ( $h_1$  и  $h_2$ ), принимались:

$\Delta b$  – величина смещения центра тяжести груза относительно геометрического центра опорной поверхности;

$\varphi$  – угол отклонения оси питающего канала от вертикали;

$H$  – глубина камеры на опорной поверхности поддона;

$\bar{S}_1 = \frac{S_1}{S}$  – относительная площадь питающих каналов;

$$C_{y0} = \frac{G}{PS} \quad - \quad \text{обобщенный коэффициент}$$

подъемной силы.

С целью минимизации количества опытов, необходимых для получения математических моделей исследуемых зависимостей, был использован метод планирования эксперимента [4], для чего выбрана полуреплика пятифакторного эксперимента  $2^{5-1}$  с генерирующим соотношением  $x_5 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$  и определяющим контрастом  $+1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5$ , дополненная для вычисления дисперсии опытов серией из трех опытов на основном уровне. Кодовые значения, уровни и интервалы варьирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

| Характеристика             | Факторы       |          |                 |             |         |
|----------------------------|---------------|----------|-----------------|-------------|---------|
|                            | $\Delta b, м$ | $C_{y0}$ | $\varphi, град$ | $\bar{S}_1$ | $H, мм$ |
| Кодовые обозначения        | $x_1$         | $x_2$    | $x_3$           | $x_4$       | $x_5$   |
| Интервал варьирования      | 0,01          | 0,1      | 10              | 0,0025      | 1,0     |
| Основной уровень (код «0») | 0,02          | 0,5      | 20              | 0,0125      | 1,0     |
| Нижний уровень (код «-1»)  | 0,01          | 0,4      | 10              | 0,010       | 0       |
| Верхний уровень (код «+1») | 0,03          | 0,6      | 30              | 0,015       | 2,0     |

Связь между исследуемыми величинами и действующими факторами находилась в виде неполного квадратного уравнения:

$$\begin{aligned}
 y = & b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + \\
 & + b_5 \cdot x_5 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \\
 & + b_{14} \cdot x_1 \cdot x_4 + b_{15} \cdot x_1 \cdot x_5 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + \\
 & + b_{24} \cdot x_2 \cdot x_4 + b_{25} \cdot x_2 \cdot x_5 + b_{34} \cdot x_3 \cdot x_4 + \\
 & + b_{35} \cdot x_3 \cdot x_5 + b_{45} \cdot x_4 \cdot x_5
 \end{aligned}$$

Коэффициенты регрессии определялись методом наименьших квадратов, их значимость оценивалась по критерию Стьюдента. Оценка адекватности эмпирических моделей осуществлялась по критерию Фишера. В результате обработки экспериментальных данных, замены кодовых значений физическими и соответствующих математических преобразований, получены зависимости тяговой силы от основных действующих факторов (рис. 2-4).

$$\begin{aligned}
 h_1 = & 0,263 - 6,9 \cdot \Delta b - 0,55 \cdot C_{y0} + 146 \cdot \bar{S}_1 - 124 \cdot C_{y0} \cdot \bar{S}_1 \\
 h_2 = & 0,182 - 1,1 \cdot \Delta b - 0,1 \cdot C_{y0} + 160,8 \cdot \bar{S}_1 + 1240 \cdot \Delta b \cdot \bar{S}_1 - 176 \cdot C_{y0} \cdot \bar{S}_1
 \end{aligned}$$

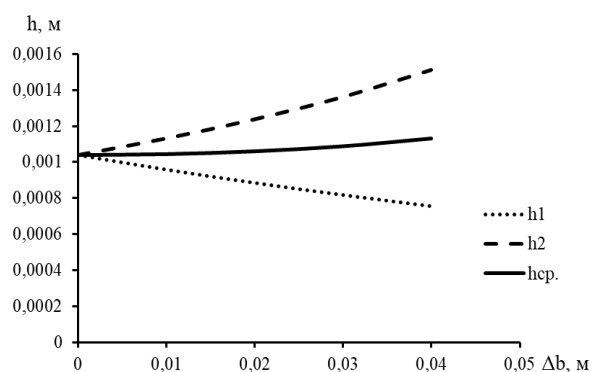


Рис. 2. График зависимости  $h_1$  и  $h_2$  от  $\Delta b$  при  $S_1 = 0,01$ ;  $C_{y0} = 0,4$ ;  $b = 0,2$  м;  $l = 0,3$  м

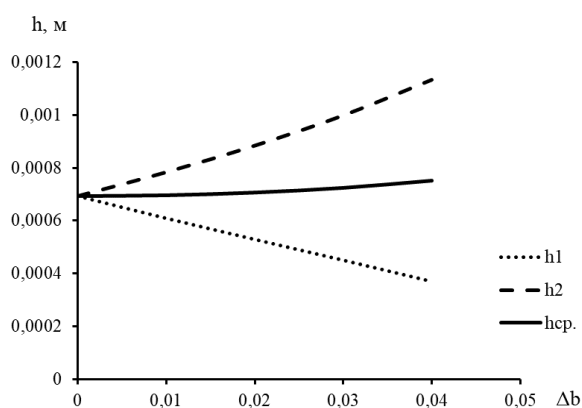


Рис. 3. График зависимости  $h_1$  и  $h_2$  от  $\Delta b$  при  $S_1 = 0,01$ ;  $C_{y0} = 0,6$ ;  $b = 0,2$  м;  $l = 0,3$  м

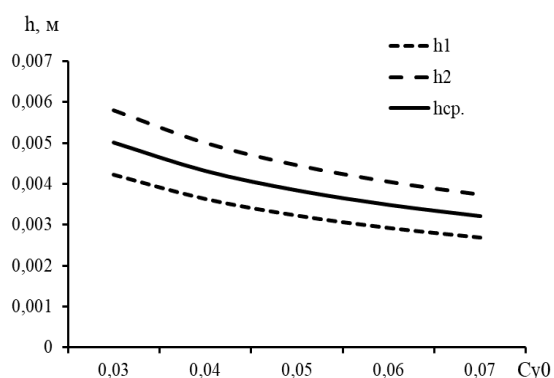


Рис. 4. График зависимости  $h_1$  и  $h_2$  от  $C_{y0}$  при  $S_1 = 0,01$ ;  $\Delta b = 0,03$  м;  $b = 0,2$  м;  $l = 0,3$  м

**Выводы.** 1. Анализ результатов исследований показал, что смещение центра тяжести груза относительно геометрического центра опорной поверхности существенно влияет на эксплуатационные характеристики транспортного устройства ячейки стеллажного склада с воздушной подушкой с наклонными питающими каналами, что необходимо учитывать при разработке этого устройства для определенных грузов и условий эксплуатации.

2. Как видно, смещение центра тяжести груза относительно геометрического центра опорной поверхности поддона существенно влияет на высоту воздушной подушки и при различных сочетаниях конструктивных параметров ее значения могут отличаться в 1,5-2 раза.

### 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. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: «Наука», 1976. – 390 с.

**Zhizhkina N.A., Turushina N.V.**

### EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE HEIGHT OF THE AIR CUSHION OF THE PNEUMATIC TRANSPORT DEVICE ON THE MAIN FACTORS

*The article is devoted to an urgent topic on the development of new efficient and less energy-intensive ways of operability of a conveying conveyor with an air cushion when determining the dependence of the height of the air cushion on the main factors. The methodology and results of experimental studies of the dependence on the structural and technological factors of the height of the air cushion of the pneumatic transport device placed in the block of the shelving warehouse are presented. Experimental studies were carried out using methods of mathematical planning of experiments and processing of experimental results. The dependence of the height of the air cushion at the extreme points of the support surface of the pallet on the magnitude of the displacement of the center of gravity and the design parameters of the conveyor is established.*

**Key words:** shelving warehouse, air cushion, pneumatic transport device, experiment planning, experimental installation.

**Жижикина Наталья Александровна**, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Охрана труда», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный аграрный университет».  
E-mail: litjo\_snu@mail.ru

**Zhizhkina Natalya**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Occupational Safety and Health, State Education Establishment High Education Lugansk Popular Republic «Lugansk State Agrarian University».

**Турушина Наталья Владимировна**, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** sun.best@mail.ru

**Turushina Nataliya**, senior lecturer of the «Transport Technologies» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Замота Тарас Николаевич**, проф., заведующий кафедрой автомобильного транспорта, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 14.04.2022*

УДК 631.354:621.43:62-24

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРИРАБОТКИ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ЭХМП ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Замота Т.Н., Бондарец О.А.

## THEORETICAL MODEL OF THE PROCESS OF RUNNING-IN OF INVOLUTE SURFACES WITH ECMP GEARS

Zamota T.N., Bondarets O.A.

*Работа посвящена разработке теоретической модели процесса приработки эвольвентных поверхностей при электрохимико-механической приработке (ЭХМП) зубчатых передач. Приработка зубчатых зацеплений имеет ряд особенностей. Сложность приработки зубчатых зацеплений состоит в малой площади пятна контакта, кратковременности взаимодействия и повышенной износостойкости контактирующих поверхностей. Решением задачи повышения эффективности приработки зубчатых зацеплений может быть применение ЭХМП.*

**Ключевые слова:** электрохимико-механическая приработка, доводка, пятно контакта, зацепление, угол перекоса.

**Введение.** Сложность приработки зубчатых зацеплений состоит в малой площади пятна контакта, кратковременности взаимодействия и повышенной износостойкости контактирующих поверхностей [1]. Детали зубчатых зацеплений изготавливаются из износостойких материалов, подвергаемых упрочняющим финишным операциям. Повышенная износостойкость позволяет повышать долговечность передач, но создает сложности при приработке.

**Анализ литературных источников.** Приработка зубчатых зацеплений – это сложный и энергозатратный процесс. Типичную кривую изнашивания трущихся поверхностей зубьев можно разбить на три основных участка: приработочный износ, установившийся износ и катастрофический износ. Участок приработки имеет продолжительность 40...1600 часов при величине приработочного износа от 3 до 23 мкм. Период установившегося изнашивания имеет протяженность 25...70 тыс. часов. Он характеризуется постоянной шероховатостью рабочих поверхностей зубьев, неизменными величинами коэффициента трения и интенсивности изнашивания. Участок катастрофического изнашивания по длительности самый короткий –

40...110 часов, величина же изнашивания может достигать 500 мкм и более [2].

Электрохимико-механическая приработка (ЭХМП) является одним из направлений в доводке и сокращении времени обкатки [3]. При ЭХМП деталям механизма придается рабочее движение, трущиеся поверхности разделяются электролитом и между деталями пропускается переменный электрический ток. За счет совместного электрохимико-механического воздействия происходит быстрое приспособливание одной поверхности к другой. Наиболее эффективным фактором ЭХМП является электрохимический [3-5].

Поэтому целью данной работы является разработка теоретической модели протекания процесса приработки контактирующих поверхностей зубьев при ЭХМП.

**Результаты исследования.** При электрохимико-механической приработке (ЭХМП) деталей сопряжения будут протекать два взаимодополняющих процесса, приводящих к снятию приработочного припуска с поверхностей деталей: электрохимическое травление и механическая депассивация поверхности. Интенсивность съема металла с прирабатываемой поверхности будет пропорциональна силе тока, протекающего через конкретную точку (рис. 1).

На схеме, представленной на рис. 1, а, выделены две цепи, по которым может протекать ток при ЭХМП. В обеих цепях присутствуют два равных между собой сопротивления:  $R_a$  – сопротивление анода и  $R_k$  – сопротивление катода [6].

Определяющими же для протекания электрохимической реакции являются сопротивления, непосредственно связанные с зазором: сопротивление минимального слоя электролита –  $R_{эл}$ , сопротивление слоя электролита вне зоны непосредственного контакта –  $R_{эл} \cdot h/h_{min}$  и сопротивление пассивационной пленки –  $R_{пл}$ .

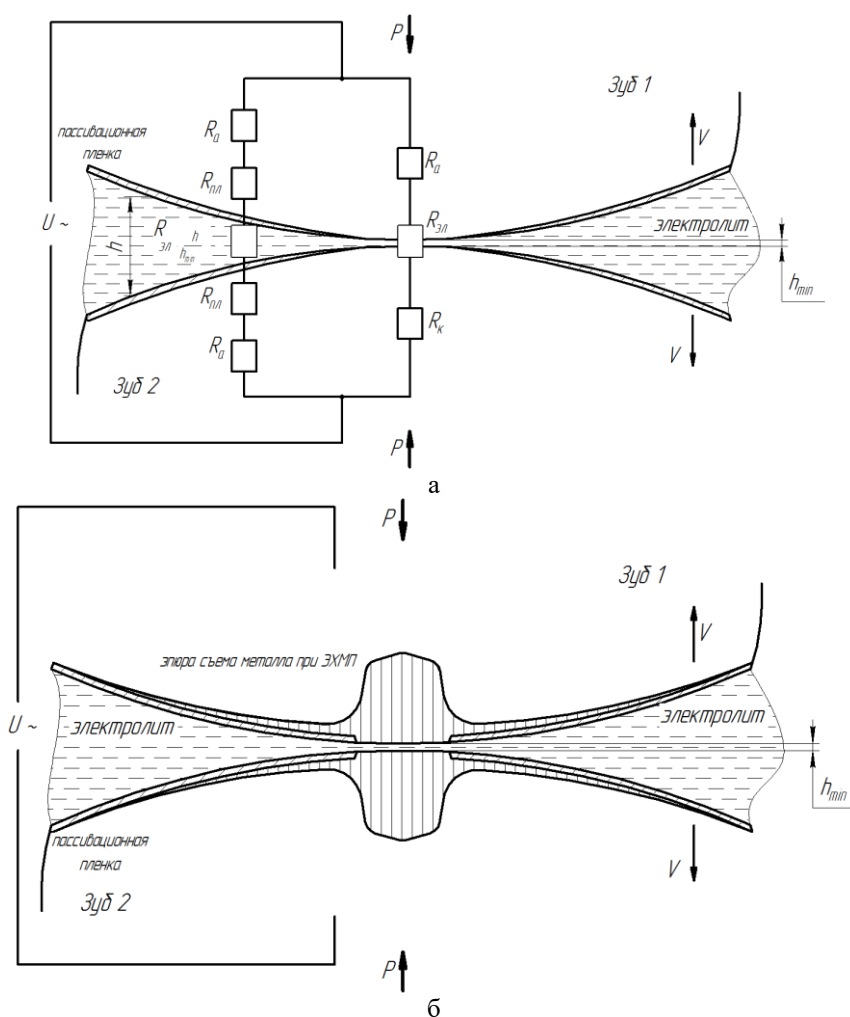


Рис. 1. Распределение сопротивлений протеканию тока при ЭХМП сопряженных зубьев шестерен (а). Эпюра скорости съема металла при ЭХМП (б):  $h_{\min}$  – толщина минимального слоя электролита в зоне механической депассивации;  $h$  – толщина слоя электролита между зубьями шестерен;  $R_a$  – сопротивление анода;  $R_k$  – сопротивление катода;  $R_{эл}$  – сопротивление минимального слоя электролита;  $R_{эл}h/h_{\min}$  – сопротивление слоя электролита между зубьями шестерен;  $R_{nl}$  – сопротивление пассивационной пленки

Обозначим силу тока, проходящего через минимальный слой электролита в зоне механической депассивации,  $I_1$ , а силу тока вне зоны непосредственного контакта –  $I_2$ . Без учета одинаковых для обеих цепей сопротивлений можно записать:

$$I_1 = U / R_{эл}, \quad I_2 = \frac{U}{R_{эл} \times h / h_{\min} + 2R_{nl}}. \quad (1)$$

Очевидно, что сила тока  $I_1 > I_2$ , т.е. скорость электрохимического травления больше в зоне минимального слоя электролита и отсутствия пассивационной пленки. Необходимо выразить силу тока вне зоны непосредственного контакта  $I_2$  через  $I_1$ . Для этого запишем:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_{эл} \times h / h_{\min} + 2R_{nl}}{R_{эл}}. \quad (2)$$

Отсюда

$$I_2 = \frac{I_1}{h / h_{\min} + 2R_{nl} / R_{эл}}. \quad (3)$$

С учетом формул (1) и (3) для межэлектродного зазора, равного толщине слоя электролита, в каждой конкретной точке построена эпюра скорости съема металла при ЭХМП (рис. 1, б). При ЭХМП создаются условия для эффективного выравнивания поверхностей. При сравнении сил тока  $I_1$  и  $I_2$  определяющими будут макрогеометрический ( $h/h_{\min}$ ) и электрохимический ( $R_{nl}/R_{эл}$ ) факторы. С ростом напряжения процесса  $U$  происходит линейное возрастание силы тока. Верхняя прямая на рис. 2 показывает силу тока  $I_1$ . Три нижних – силу тока  $I_2$  при  $h/h_{\min}$ , равном 2, 3 и 4, соответственно. На рис. 2, а принято, что  $R_{nl}/R_{эл}$  равно единице, а на рис. 2, б сопротивление  $R_{nl}$  в пять раз больше  $R_{эл}$ .

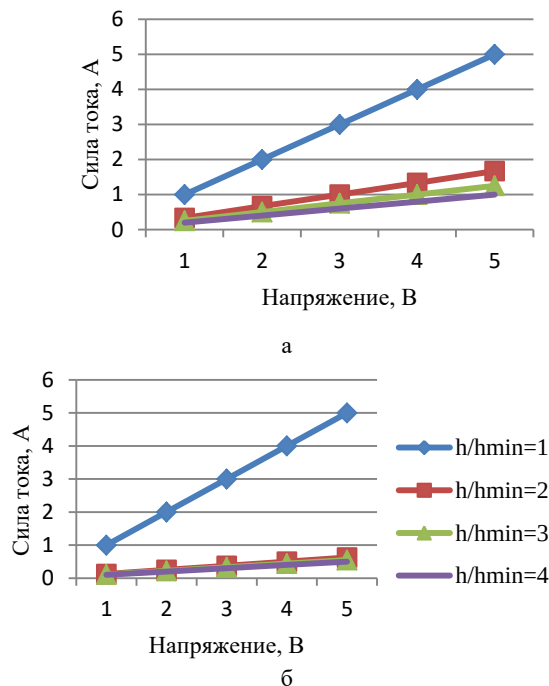


Рис. 2. Изменение силы тока при ЭХМП на участках детали с учетом межэлектродного зазора (а) и межэлектродного зазора и пассивационной пленки (б)

Очевидно, что при анодном растворении поверхности ее выравнивание будет зависеть от разницы силы тока  $I_1$  и  $I_2$ . Чем больше эта разница, тем быстрее и эффективнее процесс уменьшения макрогеометрического отклонения. Напряжение процесса должно быть максимальным, при котором обеспечивается анодное растворение, но исключается электроэрозия поверхности. По данным исследований [3-5],  $U$  должно находиться в пределах 3,5...4,5 В. Наличие пассивационной пленки только ускоряет выравнивание поверхности, поэтому необходимо подбирать электролит с пассивирующими свойствами.

Толщина слоя электролита между трущимися поверхностями в зоне непосредственного контакта равна  $h_i = h_{min}$ , а вне этой зоны –  $h_i = h$  (рис. 3).

Анодное травление в каждой конкретной точке происходит с определенной скоростью, обратно пропорциональной величине межэлектродного зазора  $h$ . В начальный момент времени точка поверхности детали с макрогеометрическим отклонением находится на зазоре  $h_i = h_{min}$  и имеет скорость травления  $V_a$ . Составим дифференциальное уравнение изменения линейного износа по времени. Обозначим межэлектродный зазор через  $h = h(t)$  – расстояние точки от начала отсчета в момент времени  $t$ , тогда в зоне непосредственного контакта  $h(0) = h_{min}$ . Согласно условию, изменение величины  $h$  от времени описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{k}{h}, \quad (4)$$

$$k = 0,5 \cdot \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \phi_a + \phi_k) \quad (5)$$

где 0,5 – коэффициент, учитывающий анодный полупериод переменного тока, при котором происходит травление одной из деталей сопряжения;  $U$  – рабочее напряжение;  $\phi_a$  – анодный потенциал;  $\phi_k$  – катодный потенциал;  $\eta_a$  – анодный выход по току;  $\chi$  – удельная электропроводимость электролита;  $\rho$  – плотность материала;  $\varepsilon$  – электрохимический эквивалент материала анода.

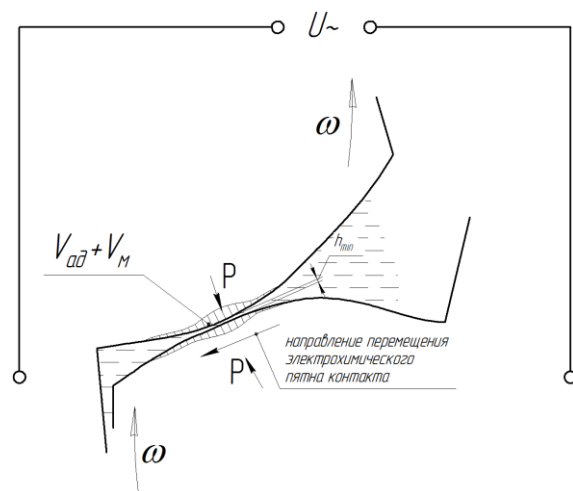


Рис. 3. Перемещение электрохимического пятна контакта по поверхности зуба

Разделив переменные в этом уравнении и проинтегрировав его, получим:

$$h = \sqrt{2(kt + c)}. \quad (6)$$

Из условия  $h(0) = h_{min}$  определим постоянную интегрирования  $C$ :

$$c = h_{min}^2 / 2. \quad (7)$$

Тогда можем записать следующее выражение:

$$h = \sqrt{2(kt + \frac{h_{min}^2}{2})} = \sqrt{h_{min}^2 + 2kt}. \quad (8)$$

Дифференцируя по  $t$ , найдем скорость увеличения зазора  $h$  в момент времени  $t$ :

$$V(t) = \frac{dh}{dt} = \frac{k}{\sqrt{h_{min}^2 + 2kt}}. \quad (9)$$

Подставим в эту функцию значение  $k$  для зоны непосредственного контакта, что даст возможность определить функцию скорости увеличения зазора между деталями.

$$V(t) = \frac{d}{dt} = \frac{k}{\sqrt{h_i^2 + 2kt}} = \frac{0,5 \cdot \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \phi_a + \phi_k)}{\sqrt{h_i^2 + \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \phi_a + \phi_k) \cdot t}}. \quad (10)$$

Изменение зазора в каждой конкретной точке в зависимости от времени выразится следующим выражением:

$$h = \sqrt{h_i^2 + 2kt} = \sqrt{h_i^2 + \frac{\chi\varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \phi_a + \phi_k) \cdot t}. \quad (11)$$

Учитывая, что толщина смазочного слоя в зоне непосредственного контакта постоянна при неизменных условиях, получим:

$$h = \sqrt{h_{\min}^2 + 2kt} = \sqrt{h_{\min}^2 + \frac{\chi\varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \phi_a + \phi_k) \cdot t}. \quad (12)$$

По заданным условиям можно записать следующее:

$$h_i = h_{\min} + \delta, \quad (13)$$

где  $\delta$  – величина зазора (рис. 4), зависящая от координаты  $x$  ( $\delta = f(x)$ ).

На схеме, представленной на рис. 4, увеличение зазора вне зоны непосредственного контакта имеет нелинейный характер, поэтому

$$\delta = f(\varphi_2), \quad (14)$$

где  $\varphi$  – полярная координата в зоне непосредственного контакта.

Изменение зазора  $h_i$  в прирабатываемой зоне в определенный момент времени определим для масляного насоса грузового автомобиля со следующими параметрами:  $z_1 = z_2 = 7$ ;  $m = 4,75$ ;  $d = 42,1$  мм; ширина – 38 мм; диаметр начальной окружности  $d_n = 33,25$  мм, просчитаем параметры для лабораторной установки. Имеем  $\rho_{1\min} = 8,1356$  мм, а  $\rho_{1\max} = 16,5956$  мм, а  $\rho_{2\max} = 16,5953$  мм и  $\rho_{2\min} = 8,1356$  мм.

Рассчитываем по формуле определения  $h$  в зависимости от  $\varphi_2$  распределение зазоров в сопряжении двух зубьев.

Выразим  $\rho_2$  через  $\rho_1$ , имеем

$$\rho_2 = (r_{b1} + r_{b2}) \cdot \operatorname{tg} \alpha - \rho_1, \quad (15)$$

$$\begin{aligned} N_1 C_1 &= \rho_1 \cdot \cos \varphi_1; & N_2 C_2 &= \rho_2 \cdot \cos \varphi_2; \\ A_1 C_1 &= \rho_1 \cdot \cos \varphi_1; & A_2 C_2 &= \rho_2 \cdot \cos \varphi_2; \\ h_1 &= \rho_1 - N_1 C_1 = \rho_1 - \rho_1 \cdot \cos \varphi_1 = \rho_1 (1 - \cos \varphi_1) \\ h_2 &= \rho_2 - N_2 C_2 = \rho_2 - \rho_2 \cdot \cos \varphi_2 = \rho_2 (1 - \cos \varphi_2) \\ h &= h_1 + h_2 = \rho_1 (1 - \cos \varphi_1) + \rho_2 (1 - \cos \varphi_2) \dots (16) \end{aligned}$$

С учетом того, что  $A_1 C_1$  и  $A_2 C_2$  всегда равны, запишем следующее равенство:

$$\rho_1 \cdot \sin \varphi_1 = \rho_2 \cdot \sin \varphi_2, \text{ отсюда } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1}, \text{ или } \sin \varphi_1 = \frac{\rho_2 \cdot \sin \varphi_2}{\rho_1}, \text{ тогда}$$

$$\rho_1 = \operatorname{arcsin} \frac{\rho_2 \cdot \sin \varphi_2}{\rho_1}.$$

Подставим полученное выражение в (1), получим:

$$h = \rho_1 \left( 1 - \cos \left( \operatorname{arcsin} \frac{\rho_2 \cdot \sin \varphi_2}{\rho_1} \right) \right) + \rho_2 (1 - \cos \varphi_2).$$

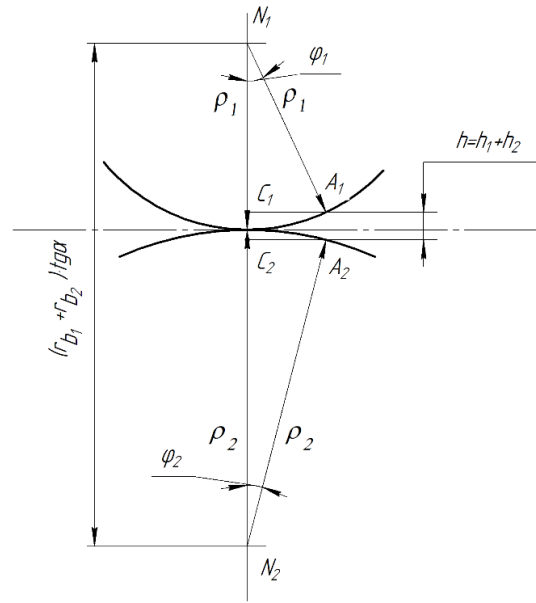


Рис. 4. Схема для определения изменения радиусов в месте контакта зубьев шестерни  $\rho_1$  и колеса  $\rho_2$  при перемещении зоны контакта по линии  $B_1 B_2$

На рис. 5 показана лабораторная установка для изучения процесса контактирования зубьев. Для случая, когда наблюдается начало контакта прирабатываемых боковых поверхностей зубьев (рис. 6, верхняя кривая), увеличение зазора при удалении от зоны непосредственного контакта происходит более интенсивно, чем в полюсе зацепления (рис. 6, нижняя кривая) [7].



а



б

Рис. 5. Изучение процесса контактирования зубьев на лабораторной установке: а – начало контакта прирабатываемых боковых поверхностей зубьев; б – контакт в полюсе зацепления, находящемся на пересечении линии зацепления с межосевой линией

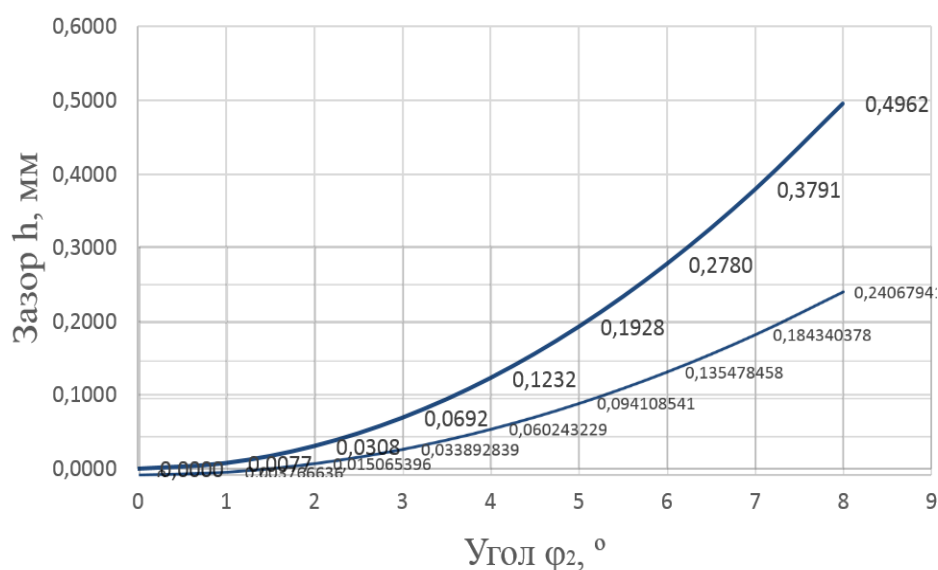


Рис. 6. Изменение зазора  $h_i$  зубьев на лабораторной установке: верхняя кривая – начало контакта прирабатываемых боковых поверхностей зубьев; нижняя кривая – контакт в полюсе зацепления, находящемся на пересечении линии зацепления с межосевой линией

С учетом (14) получим:

$$h_i = h_{\min} + \delta(\varphi_2). \quad (17)$$

Для различных типов зубчатых зацеплений находятся эмпирические зависимости  $\delta(\varphi_2)$  по формулам, представленным в [7]. Тогда изменение зазора в зоне макрогеометрического отклонения равно:

$$h = \sqrt{(h_{\min} + \delta(\varphi_2))^2 + 2kt} = \sqrt{(h_{\min} + \delta(\varphi_2))^2 + \frac{\chi\epsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \phi_a + \phi_k) \cdot t}. \quad (18)$$

Проинтегрировав это выражение по  $\varphi_2$ , получим площадь эпюры изменения сечения детали в определенный момент времени:

$$S_{\text{эп}h} = \int_{x=0}^{x=\varphi_2} \sqrt{(h_{\min} + \delta(\varphi_2))^2 + \frac{\chi\epsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \phi_a + \phi_k) \cdot t} \cdot dx. \quad (19)$$

Объем снимаемого материала будет зависеть от ширины детали  $b$ :

$$V_{\text{эп}h} = b \int_{x=0}^{x=\varphi_2} \sqrt{(h_{\min} + \delta(\varphi_2))^2 + \frac{\chi\epsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \phi_a + \phi_k) \cdot t} \cdot dx \quad (20)$$

**Выводы.** 1. Получена математическая модель, описывающая процесс стравливания материала зуба при ЭХМП зубчатых зацеплений.

2. Процесс ЭХМП контролируется электрохимическими и механическими факторами, влияющими на толщину минимального слоя электролита  $h_{\min}$ , его электропроводность  $\chi$  и пассивирующие свойства, формирующими  $R_{\text{эл}}$  – сопротивление минимального слоя электролита;  $R_{\text{эл}} \cdot h/h_{\min}$  – сопротивление слоя электролита в зоне

макрогеометрического отклонения и  $R_{\text{пл}}$  – сопротивление пассивационной пленки.

3. При анодном растворении поверхности ее выравнивание будет зависеть от разницы силы тока  $I_1$  и  $I_2$ . Чем больше эта разница, тем быстрее и эффективнее процесс уменьшения макрогеометрического отклонения.

4. Напряжение процесса должно быть максимальным, при котором обеспечивается анодное растворение, но исключается электроэрозия поверхности ( $U$  должно находиться в пределах 3,5...4,5 В).

5. Наличие пассивационной пленки только ускоряет выравнивание поверхности, поэтому необходимо подбирать электролит с пассивирующими свойствами.

## Л и т е р а т у р а

1. Прохоров В.П., Тимофеев Г.А., Чернышова И.Н. Эволюция эвольвентного зацепления при износе от истирания // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015. – № 2. – С. 14-21.
2. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. – К.: Техника, 1970. – 396 с.
3. Алексеев В.П. Электрохимико-механическая макроприработка деталей / В.П. Алексеев // Монография. – Луганск: Элтон-2, 2011. – 204 с.
4. Замота Т.Н. Управление процессами приработки основных сопряжений деталей машин при изготовлении и ремонте: монография / Т.Н. Замота, В.В. Аулин. – Кировоград: Издатель Лысенко В.Ф., 2015. – 304 с.
5. Замота Т.Н. Физико-химические основы процесса макроприработки плоских поверхностей трения // Проблеми трибології. Міжнародний науковий журнал. – Хмельницький національний університет. – 2011. – № 2. – С. 26-30.
6. Замота Т.Н. Электрохимические основы процесса макроприработки плоских поверхностей трения при ЭХМП(Д) // Проблеми трибології. Міжнародний науковий

журнал. – Хмельницький національний університет. – 2011. – № 4. – С. 56-61.

7. Замота Т.Н., Бондарец О.А. Развитие площади пятна контакта при макроприработке зубчатых зацеплений // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2020. – № 7 (37). – С. 54-60.

**Zamota T.N., Bondarets O.A.**

**THEORETICAL MODEL OF THE PROCESS OF RUNNING-IN OF INVOLUTE SURFACES WITH ECMP GEARS**

*The work is devoted to the development of a theoretical model of the process of run-in of involute surfaces during electrochemical-mechanical run-in (ECMP) of gear gears. The running-in of gear gears has a number of features. The complexity of the gearing operation consists in the small area of the contact spot, the short duration of interaction and the increased wear resistance of the contacting surfaces. The solution to the problem of increasing the efficiency of gearing can be the use of EMF.*

**Key words:** *electrochemical-mechanical running-in, fine-tuning, contact spot, engagement, skew angle.*

**Замота Тарас Николаевич**, д.т.н. профессор кафедры «Автомобильный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** Zamota71@gmail.com

**Zamota Taras**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Automobile Transport" of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Бондарец Олег Анатольевич**, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** Oleg.Bondarec@gmail.com

**Bondarets Oleg**, Senior lecturer of the Department of "Automobile Transport" of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

*Статья подана 1.06.2022*

УДК 629.1

## АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАТРАТ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ АВТОМОБИЛЯ В ПРЕДЕЛАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Замота Т.Н., Замота О.Н., Гринько Е.Т.

## ANALYSIS OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC COSTS OF OPERATING A CAR WITHIN THE LIFE CYCLE

Zamota T.N., Zamota O.N., Grinko E.T.

*Статья посвящена актуальной теме анализа технико-экономических затрат на эксплуатацию автомобиля Nissan X-trail в пределах жизненного цикла с учетом особенностей эксплуатации на постсоветском пространстве. Приведены результаты экспериментальных исследований расходов на эксплуатацию автомобиля с учетом существующего потока отказов. Экспериментальные исследования проводились с использованием данных о потоке отказов с учетом требований фирмы-производителя. Установлена зависимость соотношения затрат на запасные части, техническое обслуживание и ремонт, расход топлива на интервале от 0 до 500 тыс. км пробега. Определены дальнейшие направления исследования, а именно, необходимость построения математической модели, позволяющей определить момент замены автомобиля с учетом сложившихся затрат.*

**Ключевые слова:** автомобиль, техническое обслуживание и ремонт, запасные части, топливо, затраты, пробег.

**Введение.** Транспортные средства (ТС) являются весомым элементом материально-технической базы любого автотранспортного предприятия и одновременно фундаментом его развития и совершенствования. Этот процесс осуществляется путем увеличения количества единиц транспортных средств (экстенсивный путь), а также за счет повышения эффективности их использования (интенсивный путь). При этом, в условиях ограниченности ресурсов, экономически целесообразно продлить срок полезного использования транспортных средств путем проведения своевременного технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) и оптимизации системы выделения средств на ТО и Р ТС.

В частной эксплуатации расходы на содержание автомобиля являются определяющими при принятии решения о необходимости его замены. Следовательно, процесс ТО и Р является обязательным элементом системы поддержания автомобилей в работоспособном состоянии. От качества и своевременности проведения ТО и Р, от квалификации персонала зависит экономическая эффективность использования автотранспорта.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Надежность автомобилей, особенно одной из ее составляющих – долговечность – в настоящее время снижается [1, 2]. Это вызвано изменением конструкции автомобиля и разработкой более дешевых в производстве агрегатов, но с меньшим ресурсом. Для легковых автомобилей примерно с 1995 по 2007 гг. выпуска ресурсы составляли от 800 тыс. км пробега до 1000 тыс. км пробега. Такие пробеги обеспечивались использованием дизельных двигателей в сочетании с механической коробкой перемены передач (МКПП). Кроме этого, применялись оцинкованные кузова, что препятствовало коррозии. В дальнейшем европейские, американские и японские автомобили стали испытывать сильную конкуренцию с автомобилями, произведенными в Китае. Эти автомобили были значительно дешевле, а срок их надежной эксплуатации составлял 3-5 лет. Казалось бы, такие автомобили не будут покупаться, и потребитель отдаст предпочтение более дорогим и надежным автомобилям.

Исходя из экономических соображений длительной эксплуатации автомобиля, такое утверждение правильно. Однако причины смены автомобиля бывают разными: выпуск нового, более привлекательного автомобиля, окончание срока гарантийного обслуживания, появление более дешевого аналога с современными гаджетами, снижение уровня надежности и т.д. [3]. Поэтому автомобили китайского производства заняли свой сегмент на рынке, который начал расширяться. Другие производители были вынуждены работать над снижением цены своей продукции, что привело к снижению ресурса автомобилей из-за использования более дешевых материалов, переходу на менее надежные, но более дешевые агрегаты.

Эту тенденцию можно проследить на примере используемых элементов трансмиссии легкового автомобиля [4, 5]. На смену МКПП пришли автоматические КПП. Несколько возрос расход топлива, но автомобиль стал значительно проще в использовании. Отпала необходимость в педали

сцепления, что значительно упростило эксплуатацию для начинающих водителей. Ресурс автоматов был несколько ниже, чем у МКПП. В настоящее время на смену автоматическим коробкам пришли вариаторы. Этот тип коробки обеспечивает бесступенчатую передачу энергии от двигателя к другим элементам трансмиссии, дешёвый в производстве, однако ресурс вариаторов находится в пределах 100...150 тыс. км пробега по данным многих исследователей, т.е. автомобиль потребует капитального ремонта трансмиссии через указанный пробег. С учетом требований по эксплуатации легковых автомобилей в развитых странах этого ресурса может хватить до момента замены такого автомобиля на новый (замена автомобиля до 10 лет эксплуатации). Для постсоветских стран, у которых доля автомобилей свыше 13 лет эксплуатации, составляет свыше 59% [6], значительное снижение ресурса автомобилей требует разработки современного подхода к обеспечению их надежности.

**Цель исследования.** Намечившаяся тенденция по снижению надежности автомобилей вызвала необходимость оценки технического состояния, влияющего на затраты на эксплуатацию, и разработки методики их оценки. Поэтому целью данной работы является проведение анализа технико-экономических затрат на эксплуатацию автомобиля в пределах жизненного цикла.

**Материалы и результаты исследования.** Рассмотрим формирование потока отказа при эксплуатации автомобиля Nissan X-trail с кузовом Т-30 (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид автомобиля Nissan X-trail с кузовом Т-30

Усовершенствование системы эксплуатации легковых автомобилей при существующей точности деталей возможно только при анализе потока отказов [7]. Согласно условиям на ТО и Р фирмы-производителя, существуют нормативы на замену запасных частей и обслуживание узлов и агрегатов данного автомобиля.

Исходя из них, была построена гистограмма появления отказов, обусловленных техническими условиями на проведение ТО и Р (рис. 2).

Отказы с наибольшей частотой появления при пробеге в 500 тыс. км – замена передних тормозных колодок – 49 раз, смена моторного масла и замена масляного фильтра – 47 раз. Такая частота вызвана необходимостью проведения замены деталей или масла через 10...11 тыс. км пробега. Экономическая нагрузка на того, кто эксплуатирует данный автомобиль, будет значительной даже при относительно невысокой стоимости этих комплектующих.

Соотношение стоимости деталей автомобиля Nissan X-trails кузовом Т-30 за весь исследуемый интервал пробега подтвердило это предположение (рис. 3).

В структуре общих расходов удельный вес 16% составляют затраты на поддержание в работоспособном состоянии ходовой части автомобиля, а 13% – передние тормозные колодки. Однако необходимо учитывать, что частоты появления отказов разные. Ходовую часть автомобиля придётся восстанавливать 9 раз, а менять колодки – 49 раз. Стоимость одной замены значительно выше при восстановлении элементов ходовой, что перемещает её на первое место в процессе эксплуатации за исследуемый пробег (рис. 3).

При учете затрат на оплату труда персонала, который осуществляет ТО и Р, меняется структура затрат, удельный вес затрат по ходовой части увеличился и составил 23%, а по передним тормозным колодкам сократился и составил 11% (рис. 4).

При расчете суммарной стоимости на обслуживание и ремонт автомобиля необходимо учитывать как затраты на запасные части, так и работы по ТО, что подтверждает изменение удельного веса затрат в структуре соотношения стоимости деталей и ТО и Р.

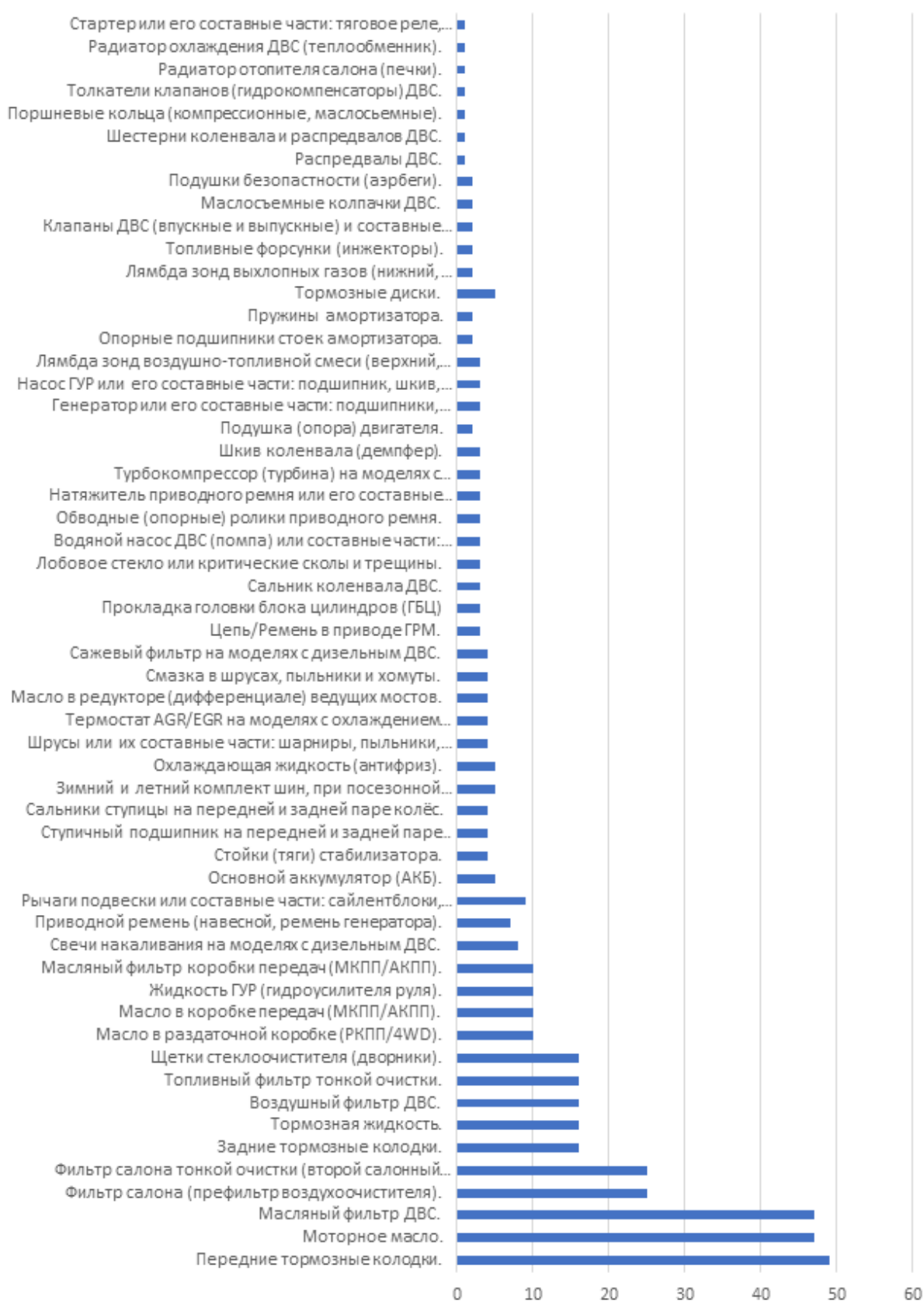


Рис. 2. Частоты появления отказов автомобиля Nissan X-trail с кузовом Т-30 при пробеге от 0 до 500 тыс. км

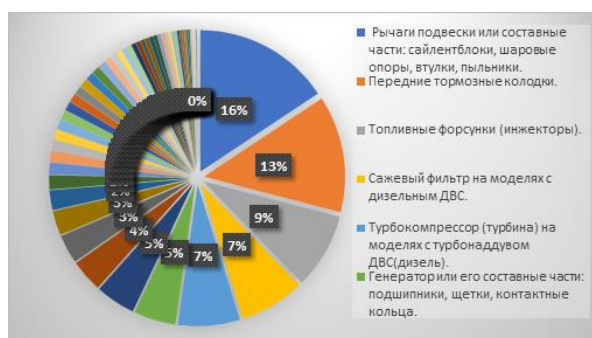


Рис. 3. Процентное соотношение стоимости деталей автомобиля Nissan X-trail с кузовом Т-30

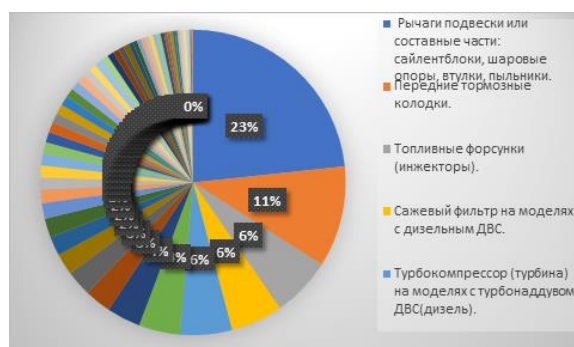
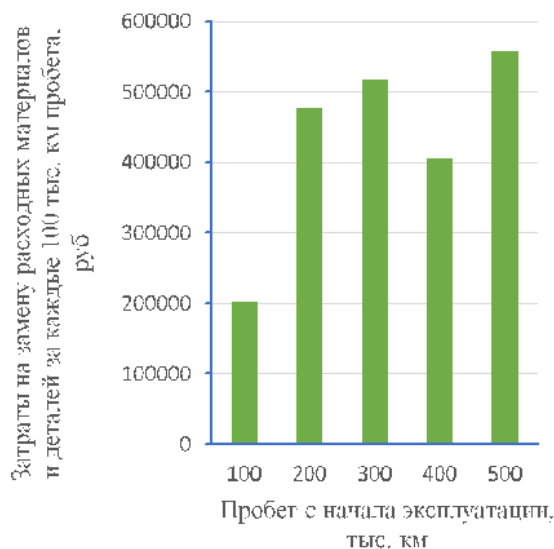


Рис. 4. Процентное соотношение стоимости деталей и стоимости ТО и Р автомобиля Nissan X-trail с кузовом Т-30

Исходя из полученных фактических данных по затратам на запасные части и ТО и Р, за каждые 100 тыс. км пробега было выяснено, что на первых 100 тыс. км пробега необходимо потратить 200 тыс. руб. на запасные части (рис. 5, а). При пробеге от 100 до 200 тыс. км эти затраты резко возрастают в 2,4 раза. Эта тенденция сохраняется до 300 тыс. км пробега, а

дальнейшая эксплуатация проходит при снижении суммы, выделяемой на запасные части (при 400 тыс. км пробега – затраты на запасные части составляют 406 тыс. руб. против 512 тыс. руб. на пробеге в 300 тыс. км пробега), что связано с необходимостью проведения текущего ремонта (ТР) на пробеге в 300 тыс. км.



а



б

Рис. 5. Затраты на запасные части (а) и ТО и Р (б) за 100 тыс. км пробега

Подобная тенденция распределения денежных средств сохраняется и при анализе затрат на ТО и Р за каждые 100 тыс. км пробега: на первых 100 тыс. км пробега необходимо потратить 84,5 тыс. руб. на ТО и Р (рис. 5, б). При пробеге от 100 до 200 тыс. км эти затраты возрастают в 2 раза. Эта тенденция сохраняется до 300 тыс. км пробега, а дальнейшая эксплуатация проходит при снижении суммы, выделяемой ТО и Р (при 400 тыс. км пробега – затраты на ТО и Р составляют 146 тыс. руб. против 214 тыс. руб. на пробеге в 300 тыс. км пробега).

Суммарные расходы на замену запасных частей и ТО и Р показали экспоненциальное возрастание затрат с увеличением пробега (рис. 6).

Что касается затрат на топливо, то для автомобилей, находящихся в эксплуатации более 5 лет с общим пробегом более 100 тыс. км, они увеличиваются до 5%, а при эксплуатации более 8 лет или с общим пробегом более 150 тыс. км – до 10% [7]. Согласно нормативной документации, затраты на топливо для исследуемого автомобиля при заданном пробеге составили 2260000 руб. (рис. 7).

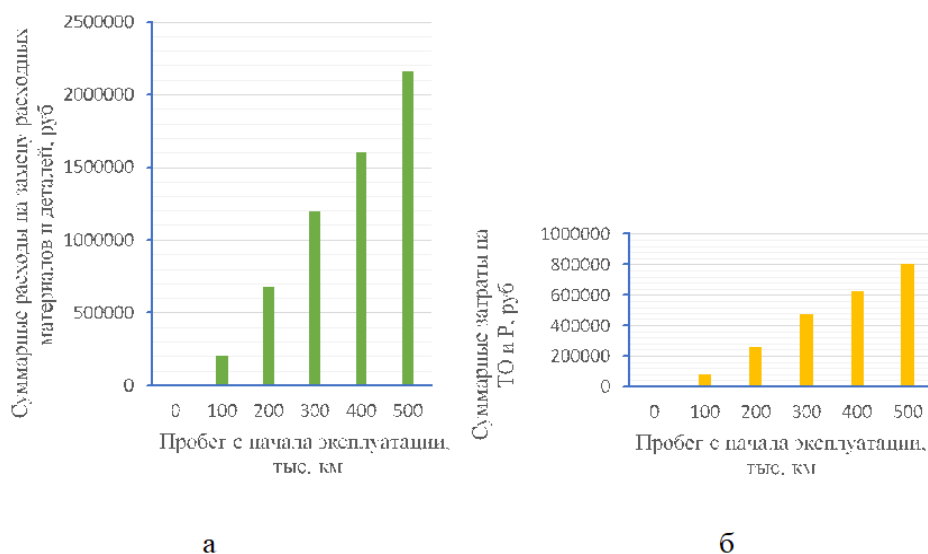


Рис. 6. Суммарные затраты на запасные части (а) и ТО и Р (б) при пробеге от 0 до 500 тыс. км

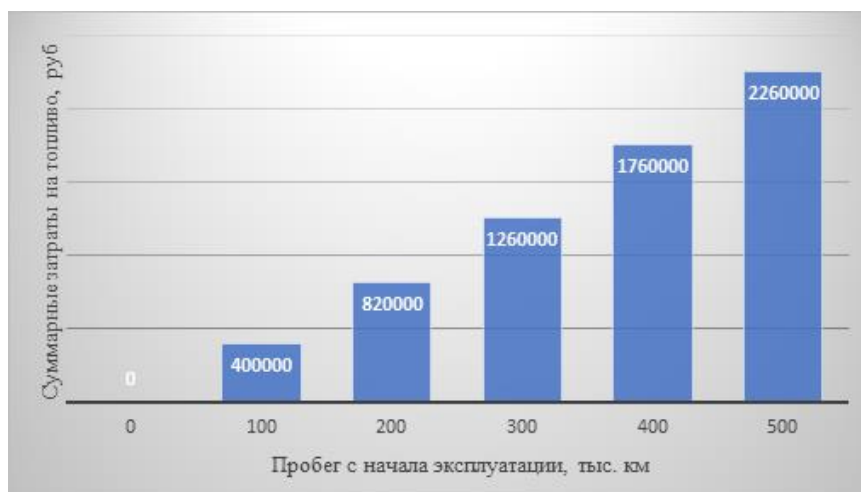


Рис. 7. Суммарные затраты на топливо

В эксплуатации полезно знать примерное соотношение расходов на топливо с расходами на запасные части, ТО и Р. На каждую сотню тыс. км пробега получены данные по расходам на эти статьи затрат (рис. 8).

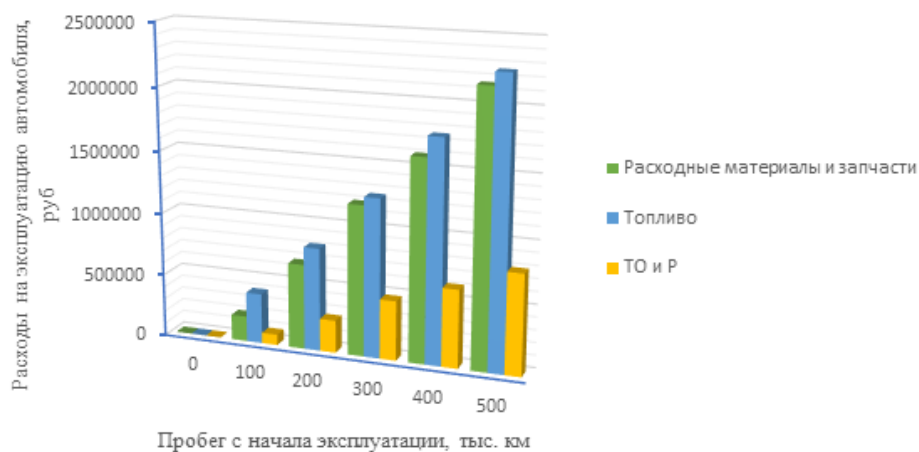


Рис. 8. Расходы на эксплуатацию автомобиля за каждые 100 тыс. км пробега

До 200 тыс. км пробега расходы на топливо являются основными, превышающими суммарные затраты на запасные части и ТО и Р. При дальнейшей эксплуатации наблюдается экспоненциальный рост этих затрат. Затраты на топливо имеют линейную зависимость от пробега с увеличением на 5 и 8 годах эксплуатации, что хорошо коррелирует с полученными экспериментальными данными (рис. 9). При эксплуатации двигателя до наступления

предельного состояния линейный характер расходов на топливо может считаться закономерным. В период катастрофического изнашивания эксплуатация автомобиля в целом должна быть прекращена во избежание резкого роста затрат и невозможности гарантированного выполнения функций, возложенных на автомобиль. Поэтому в данной работе рассматривается эксплуатация автомобиля Nissan X-trail до пробега в 500 тыс. км.

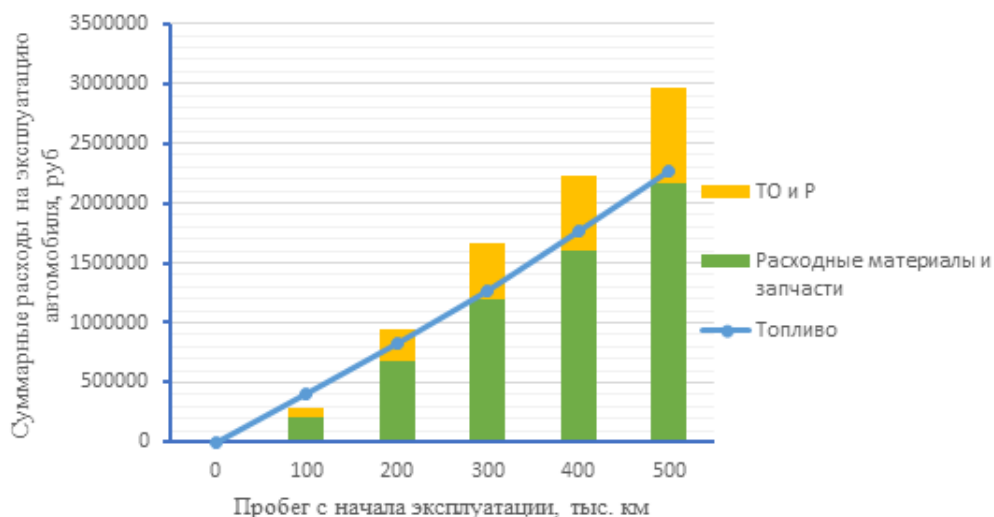


Рис. 9. Соотношение суммарных затрат на топливо в сравнении с затратами на расходные материалы, запасные части и ТО и Р

Суммарные расходы на эксплуатацию автомобиля нарастающим итогом (рис. 10) показали, что при пробеге в 500 тыс. км на его эксплуатацию расходуется сумма 5218444 руб. Стоимость покупки нового автомобиля того же производителя в настоящее время составляет примерно 2100000 руб.

Поэтому возникает закономерный вопрос о моменте замены старого автомобиля на новый. С

учетом необходимости проведения ТР на 300 тыс. км, что влечет за собой увеличение затрат на этом пробеге, необходимо построить математическую модель, которая позволит определять момент замены автомобиля с учетом сложившихся затрат, на которые влияют конкретные условия эксплуатации.

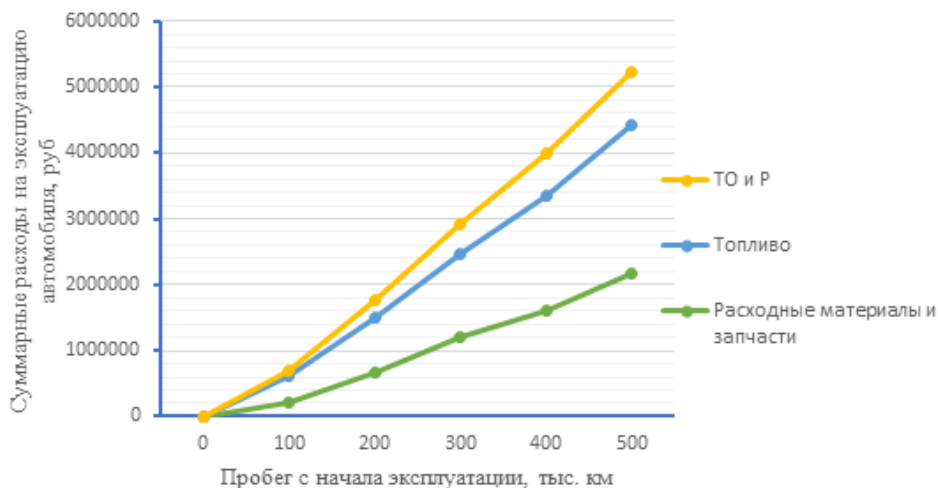


Рис. 10. Суммарные расходы на эксплуатацию автомобиля нарастающим итогом

**Выводы.** 1. Для анализа технико-экономической эффективности эксплуатации автомобиля в пределах жизненного цикла необходимо учитывать поток отказов в реальных условиях. Анализ частоты появления отказов автомобиля Nissan X-trail с кузовом Т-30 при пробеге от 0 до 500 тыс. км выявил, что ходовую часть автомобиля придётся восстанавливать 9 раз, а менять колодки – 49 раз. Стоимость одной замены значительно выше при восстановлении элементов ходовой, что перемещает её на первое место в процессе эксплуатации за исследуемый пробег (затраты по ходовой части увеличиваются и составляют 23%, а по передним тормозным колесам сокращаются до 11%).

2. Наблюдается цикличность необходимых средств для поддержания автомобиля в работоспособном состоянии. До 300 тыс. км пробега затраты возрастают, а затем, на 400 тыс. км пробега – снижаются на 18...20%. Это связано с необходимостью проведения ТР.

3. Затраты на топливо растут линейно, с увеличением на 5 и 8 годах эксплуатации. При резком возрастании затрат на топливо необходимо выводить двигатель из эксплуатации и устранять причину поломки.

4. Необходимо построить математическую модель, которая позволит определять момент замены автомобиля с учетом сложившихся затрат, на которые влияют конкретные условия эксплуатации, интервалы проведения ТО и Р, интенсивность изменения технического состояния основных узлов и агрегатов, влияющих на экономическую эффективность использования автомобиля.

### Л и т е р а т у р а

1. Bokor Z, Cost Drivers in Transport and Logistics, Periodica Polytechnica Ser. Transportation Engineering 38 (2010), no. 1, 13-17, DOI 10.3311/pp.tr.2010-1.03.

2. Askary D, Yazdifar H, Askary S, Supply chain management, activity-based cost in and organisational factors, International Journal of Production Economics 127 (2010), no. 2, 238–248, DOI 10.1016/j.ijpe.2009.08.004.

3. An Analysis of the Operational Costs of Trucking: annual report / American Transportation Research Institute Minneapolis. – November 2019. – 48 p.

4. Аулин В.В., Замота Т.Н., Гриньков А.В., Карачев А.А. Характерные отказы и структура диагностической информации о техническом состоянии автомобилей NISSANX-TRAIL / В.В. Аулин, Т.Н. Замота, А.В. Гриньков, А.А. Карачев // Збірник наукових матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Іноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту», 14-15 листопада 2018 року. – Кропивницький, 2018. – С. 256-264.

5. Аулин В.В., Замота О.М. Вплив системи технічного обслуговування і ремонту автомобілів на собівартість вантажних перевезень / В.В. Аулін, О.М. Замота // Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки, вип. 17. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 308-315.

6. Автостат: аналитическое агентство: сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.autostat.ru/>. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 27.01.2022.

7. Замота Т.Н., Замота О.Н., Гринько Е.Т. Усовершенствование системы эксплуатации легковых автомобилей при существующей точности деталей и анализе потока / Т.Н. Замота, О.Н. Замота, Е.Т. Гринько // Научный вестник Луганского государственного аграрного университета. – Луганск: ГОУ ВО ЛНР ЛГАУ. – 2021. – № 3 (12). – С. 283-290.

8. «Об утверждении норм расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» от 08 июня 2020 г. Луганск № 139 [Электронный ресурс] – URL: <https://mintrans-lnr.su/>.

### **Zamota T.N., Zamota O.N., Grinko E.T. ANALYSIS OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC COSTS OF OPERATING A CAR WITHIN THE LIFE CYCLE**

*The article is devoted to the actual topic of the analysis of technical and economic costs for the operation of the Nissan X-trail car within the life cycle, taking into account the peculiarities of operation in the post-Soviet space. The results of experimental studies of the costs of car operation are given, taking into account the existing flow of failures. Experimental studies were carried out using data on the flow of failures, taking into account the requirements of the manufacturer. The dependence of the ratio of costs for spare parts, maintenance and repair, fuel consumption in the interval from 0 to 500 thousand km of run is established. Further directions of research are determined, namely, the need to build a mathematical model that allows to determine the moment of car replacement, taking into account the existing costs.*

**Key words:** car, maintenance and repair, spare parts, fuel, costs, mileage.

**Замота Тарас Николаевич**, д.т.н., проф., зав. кафедры «Автомобильный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** Zamota71@gmail.com

**Zamota Taras**, Ph.D, head of «Automobile transport» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Замота Оксана Николаевна**, старший преподаватель кафедры экономики и управления Краснодарского факультета инженерии и менеджмента ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** Zamota71@gmail.com

**Zamota Oksana**, Senior Lecturer of the Department of Economics and Management Krasnodon Faculty of Engineering and Management SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Гринько Елена Тарасовна**, ассистент кафедры финансов и кредита ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** etgrinko@yandex.ru

**Grinko Elena**, a chair assistant of «Finance and Credit» SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Панайотов Константин Константинович**, к.т.н., доц., декан Краснодарского факультета инженерии и менеджмента ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 18.03.2022

УДК 656; 006

## ПРОВЕДЕНИЕ СЕРТИФИКАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОСМОТРА АВТОМОБИЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ивченко Т.Б., Арешин А.А.

## CARRYING OUT CERTIFICATION AND TECHNICAL INSPECTION OF VEHICLES TO INCREASE TRANSPORT SAFETY

Ivchenko T.B., Areshin A.A.

*Статья посвящена актуальной теме повышения транспортной безопасности и необходимости сертификации и технического осмотра колесных транспортных средств. Изложена статистика ввозимых в Луганскую Народную Республику автомобилей и дорожно-транспортных происшествий по причине технических неисправностей. Проанализирована процедура сертификации транспортной продукции на соответствие автотранспорта согласно государственно установленным требованиям качества и безопасности. Изложен перечень необходимых документов для получения сертификата соответствия. Дан анализ необходимости введения технического осмотра для физических лиц- участников дорожного движения в Луганской Народной Республике.*

**Ключевые слова:** технические неисправности, дорожно-транспортное происшествие, сертификация, транспортное средство, технический осмотр.

Анализ последних исследований и публикаций. В Луганскую Народную Республику ежедневно в режиме импорта ввозятся автомобили из других стран. Анализируя статистику Государственного Таможенного Комитета Луганской Народной Республики по ввозимым автотранспортным средствам можно отметить, что рост импорта транспортных средств личного пользования относительно 2020 года составил 78%. В 2021 году в Луганскую Народную Республику импортировано около 13 тысяч автомобилей. Это рекордный показатель. За всю историю нашей Республики было растаможено порядка 30 тысяч транспортных средств личного пользования, и 40% из них оформлены в 2021 году [1].

Управлением ГИБДД МВД ЛНР на территории Республики с 01.02.2022 г. проводятся профилактические мероприятия по пресечению фактов эксплуатации на улично-дорожной сети технически неисправных транспортных средств и транспортных средств, которые не прошли обязательный технический осмотр. При этом особое внимание уделяется контролю за техническим состоянием транспортных средств, которые

осуществляют перевозку пассажиров, а именно маршрутных транспортных средств и такси.

«За время проведения указанных мероприятий сотрудниками ГИБДД выявлено 788 фактов управления неисправными транспортными средствами, из них 110 административных материалов составлено на водителей маршрутных транспортных средств и такси, 161 транспортное средство эксплуатировалось без обязательного технического осмотра. К административной ответственности привлечено 32 должностных лица автопредприятий, которые осуществили выпуск транспортных средств с техническими неисправностями либо без обязательного технического осмотра», – отметил заместитель начальника отдела автомобильно-технической инспекции УГИБДД МВД ЛНР Дмитрий Говтвин.

Всего за 2021 год сотрудниками ГИБДД выявлено около 7000 случаев управления ТС с техническими неисправностями, составлено 665 административных материалов за управление транспортным средством, которое не прошло обязательный технический осмотр. За выпуск на линию неисправных транспортных средств, а также транспортных средств, которые не прошли обязательный технический осмотр, к административной ответственности привлечено 264 должностных лиц автопредприятий [2].

На данный момент дорожно-транспортное происшествие (далее – ДТП), к сожалению, становится распространенным явлением в современном мире. Ежегодно на территории Луганской Народной Республики совершаются ДТП, в том числе и по техническим неисправностям.

Для уменьшения риска ДТП ввозимые автомобили в Луганскую Народную Республику должны пройти контроль транспортного средства и получить сертификат соответствия. Данная процедура обусловлена постановлением № 438 «Об утверждении временных правил обращения продукции, подлежащей обязательной сертификации в Луганской Народной Республике, и

перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации в ЛНР», принятого Советом Министров Луганской Народной Республики 23 августа 2016 года.

Для обеспечения безопасности дорожного движения, согласно ч. 2 ст. 36 Закона Луганской Народной Республики от 15.01.2016 № 80-П «О дорожном движении», введен обязательный государственный технический осмотр или технический осмотр с периодичностью:

1) для легковых автомобилей, используемых для перевозки пассажиров или грузов с целью получения прибыли, грузовых автомобилей (независимо от формы собственности) грузоподъемностью до 3,5 тонн, прицепов к ним со сроком эксплуатации более двух лет каждые два года;

2) для грузовых автомобилей грузоподъемностью более 3,5 тонн, прицепов к ним и такси независимо от срока эксплуатации ежегодно;

3) для автобусов (микроавтобусов) и специализированных транспортных средств, перевозящих опасные грузы, независимо от срока эксплуатации дважды в год.

Однако импортируемый автомобильный транспорт для личного пользования проходит контроль технического состояния единожды для получения сертификата соответствия в ГУП «Луганскстандартметрология» и постановки на учет в МРЭО УГИБДД. Поэтому для повышения безопасности необходимо ввести обязательный государственный технический осмотр и (или) технический осмотр с периодичностью каждые два года, взяв за основу ч. 2 ст. 36 Закона Луганской Народной Республики от 15.01.2016 № 80-П «О дорожном движении».

Цель исследования – проанализировать дорожно-транспортные происшествия автотранспортных средств в Луганской Народной Республике с целью необходимости сертификации и введения технического осмотра автомобилей, как комплексных мероприятий для повышения транспортной безопасности.

Материалы и результаты исследования. Отметим, что одной из причин ДТП является некорректная работа автомобиля, которому не проведен своевременный технический контроль. Анализ дорожно-транспортной аварийности в регионах РФ показал (рис. 1), что одним из основных факторов, определяющим наступление ДТП, являются технические неисправности, а именно: рулевого привода, тормозных механизмов и ходовой части автомобиля [3, с. 40-41].



Рис. 1. Диаграмма ДТП вследствие технических неисправностей автомобиля по конструкционным особенностям

Для предотвращения ДТП европейское сообщество принимает комплексные меры. Одной из этих мер является сертификация транспортного средства.

Сертификация транспортных средств – это совокупность экспертных мероприятий, направленных на выявление соответствия автотранспорта согласно государственно установленным требованиям качества и безопасности. Одним из таких мероприятий является процедура проведения контроля автомобиля в технически независимой государственной лаборатории (по выбору заказчика), которая позволяет определить технические неисправности автомобиля. Сертификация транспортных средств позволяет уменьшить количество автомобилей, не пригодных к эксплуатации, и, соответственно, сократить случаи ДТП.

Для получения сертификата соответствия необходимо:

1. Ввезти транспортное средство на территорию Луганской Народной Республики.

2. Предоставить в ГУП ЛНР «Луганскстандартметрология» документы. Идентификация транспортного средства, получение протокола лаборатории о проведенных испытаниях и т.д. определяется исходя из полученных документов.

3. Оригинал оформленного сертификата получают в ГУП ЛНР «Луганскстандартметрология». Заказчик предоставляет сертификат при регистрации транспортного средства в МРЭО УГИБДД МВД ЛНР (или другом государственном регистрационном органе). Образец сертификата соответствия представлен на рис. 2.



технического состояния) для всего автомобильного транспорта на территории Луганской Народной Республики.

3. Введение комплексных мер для повышения транспортной безопасности, а именно прохождение сертификации и технического осмотра, являются актуальными.

#### Л и т е р а т у р а

1. В Луганск на продажу было ввезено около 13 тысяч легковых автомобилей в 2021 году [Электронный ресурс]. – URL: [https://cxid.info/161912\\_v-lugansk-na-prodazhu-bylo-vvezeno-okolo-tysyach-legkovyx-avtomobilei-v-godu.html](https://cxid.info/161912_v-lugansk-na-prodazhu-bylo-vvezeno-okolo-tysyach-legkovyx-avtomobilei-v-godu.html) (дата обращения: 01.03.2022 г.).

2. Сотрудниками УГИБДД МВД ЛНР проводятся профилактические мероприятия по пресечению случаев управления ТС с техническими неисправностями [Электронный ресурс]. – URL: <https://mvdlnr.ru/feed/video/3874-sotrudnikami-ugibdd-mvd-lnr-provodjatsja-profilakticheskie-meroprijatija-po-presecheniju-sluchaev-upravlenija-ts-s-tehnicheskimi-neispravnostjami.html> (дата обращения: 01.03.2022).

3. Ивченко Т.Б., Арешин А.А., Терещенко И.С. Актуальные проблемы транспортной безопасности // Материалы научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития транспортных технологий» – 2021. – С. 38-43.

4. Сертификация транспортных средств [Электронный ресурс]. – URL: <https://csmlg.org/sertifikaciya-transportnykh-sredstv/> (дата обращения: 02.03.2022 г.).

5. Особенности проведения технического осмотра [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.std-shell.ru/blog/article/osobennosti-provedeniya-tehnicheskogo-osmotra/> (дата обращения: 02.03.2022 г.).

**Ivchenko T.B., Areshin A.A.**

**CARRYING OUT CERTIFICATION AND TECHNICAL INSPECTION OF VEHICLES TO INCREASE TRANSPORT SAFETY**

*The article is devoted to the topical issue of improving transport safety and the need for certification and technical inspection of wheeled vehicles. The statistics of cars imported into the Lugansk People's Republic and traffic accidents due to technical malfunctions are presented. The procedure for certification of transport products for the compliance of vehicles in accordance with state-established quality and safety requirements is analyzed. The list of required documents for obtaining a certificate of conformity is outlined. An analysis of the need to introduce a technical inspection for individuals participating in road traffic in the Luhansk People's Republic is given.*

**Key words:** technical malfunctions, traffic accident, certification, vehicle, technical inspection.

**Ивченко Татьяна Борисовна**, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** tanya-invchenko@mail.ru

**Ivchenko Tatyana**, senior teacher of «transport technologies» SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Арешин Антон Алексеевич**, магистрант кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** areshinanton@gmail.com

**Areshin Anton**, master student of "Transport technologies" SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

*Статья подана: 27.04.2022*

УДК 681.34

## ИНТЕГРИРОВАНИЕ ПРЕЦИЗИОННОЙ АНАЛОГОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ В СОВРЕМЕННЫЙ ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Киреев А.Н., Дмитриенко А.Б., Атрошенко Д.В.

## INTEGRATION OF PRECISION ANALOG MEASURING EQUIPMENT INTO A MODERN DIGITAL MEASURING COMPLEX

Kireev A.N., Dmitrienko A.B., Atroshenko D.V.

*В статье рассматривается возможность интегрирования прецизионной аналоговой измерительной аппаратуры в современный цифровой измерительный комплекс, имеющий программные средства для измерения, записи и хранения, а также обработки полученных опытных данных. Статья может быть полезна инженерам машиностроительных предприятий, непосредственно занимающимся испытаниями выпускаемого оборудования, проводящим работы по диагностике, настройке и исследованиям состояния технических систем в широком спектре эксплуатационных нагрузок.*

**Ключевые слова:** аналоговая измерительная аппаратура, измерительный комплекс, вибрация и ударное воздействие, подвижной состав, вибропреобразователь, осциллограф, измерительный комплекс.

**Введение.** В современных условиях к техническим средствам предъявляются разнообразные требования, направленные на обеспечение соответствия различных показателей, и в первую очередь с точки зрения безопасности. С учетом роста технической сложности и увеличения наукоемкости разрабатываемых технических средств и ужесточения нормативных требований к их показателям все более актуальной становится задача количественного и качественного определения различных показателей. Немаловажно при этом выполнение предъявляемых требований к достоверности полученных результатов, возможности их оперативной обработки и анализа с применением современных программных средств. В отдельных случаях возникает необходимость анализа полученных данных специалистами других организаций.

Очевидно, что результаты измерений, полученные с помощью аналоговой измерительной аппаратуры, достаточно точны и достоверны, но вместе с тем затруднена их оперативная обработка, анализ и особенно передача для обработки специалистам других организаций.

**Цель работы.** Речь пойдет об измерительном комплексе для определения величин вибрации. Данный измерительный комплекс можно использовать, в частности, для определения вибрационных показателей железнодорожного подвижного состава с целью оценки их соответствия требованиям технического регламента Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава» ТР ТС 001/2011 [1].

**Изложение основных материалов.** К железнодорожному подвижному составу предъявляются требования по вибрации, действующей как на человека, так и на оборудование железнодорожного подвижного состава с целью обеспечения выполнения требований безопасности. В Российской Федерации нормативные требования к вибрации на рабочих местах локомотивной бригады, обслуживающего персонала и сидениях пассажиров на железнодорожном подвижном составе оговорены в санитарных правилах СП.2.5.1236-2003 [2]. Нормирование предусмотрено для вертикальной и горизонтальной вибрации в диапазоне частот 1-80 Гц, разделяемом на 1/3 октавные полосы.

Стойкость к механическим внешним воздействующим факторам (вибрации и ударному воздействию), действующим на оборудование, нормируется ГОСТ 30631-99 [3] и ГОСТ 17516.1-90 [4]. При этом нормируется синусоидальная вибрация в диапазоне частот 0,5-100 Гц.

Для измерения указанных показателей использовалась проверенная временем прецизионная измерительная аппаратура производства теперь не существующей фирмы VEB Robotron-Messelektronik Dresden ГДР. Измерительный комплекс включает: вибропреобразователь KD-45, интегрирующий усилитель Robotron 00028 (рис. 1), фильтр Robotron 01014 (рис. 2) (используемый при необходимости как фильтр верхних или нижних частот). Регистрация измеренных параметров ранее производилась с помощью осциллографа HO.71.4M

на осциллографическую ультрафиолетовую бумагу. Дальнейшая обработка, анализ, систематизация данных проводились вручную. Данная работа требовала огромных затрат труда, времени, кроме того, человеческий фактор имел влияние на точность и достоверность полученных данных. Сложность представлял обмен данными измерений между испытательными и конструкторскими подразделениями или с другими испытательными организациями, согласно профилю проводимых работ – при необходимости.

Усилитель интегрирующий Robotron 00028 [5] предназначен для измерения механических вибраций и ударов; применяется для подключения пьезоэлектрических вибрационных акселерометров и позволяет измерять виброускорение, виброскорость и виброперемещение.



Рис. 1. Усилитель интегрирующий Robotron 00028



Рис. 2. Фильтр верхних-нижних частот Robotron 01014

Основные технические характеристики Robotron 00028:

Диапазон частот – от 1 Гц до 10 кГц.

Диапазон измерения:

- виброускорения – от  $0,032 \text{ мс}^{-2}$  до  $320 \text{ мс}^{-2}$ ;
- виброскорости – от  $0,000032 \text{ мс}^{-1}$  до  $3,2 \text{ мс}^{-1}$ ;
- виброперемещения – от  $0,0032 \text{ мм}$  до  $100 \text{ мм}$ .

Погрешность при измерении виброскорости и виброперемещения на всех частотах –  $\pm 1 \text{ дБ}$ .

Погрешность при измерении виброускорения на частоте:

- от 1 Гц до 10 кГц –  $\pm 1 \text{ дБ}$ ;
- от 0,5 Гц до 15 кГц –  $\pm 3 \text{ дБ}$ ;
- от 10 Гц до 10 кГц –  $\pm 1 \text{ дБ}$ .

Фильтр Robotron 01014 [6] предназначен для использования в качестве фильтра верхних-нижних частот или как толчковый фильтр; применяется при измерении вибрации, в акустике, а также в технике измерения нижних частот для подавления интерферирующих частотных компонент.

Основные технические характеристики Robotron 01014:

Диапазон частот в режиме:

- фильтра верхних или нижних частот – от 0,2 Гц до 160 кГц, с шагом 0,33;
- толчкового фильтра – от 2 Гц до 16 кГц, с шагом 0,33.

Частотный диапазон (линейный) – от 0 до 300 кГц.

Напряжение входное (эффективное) и выходное – от 1 мВ до 1 В.

Затухание на предельной частоте:

- при характеристиках Баттерворта – 3 дБ;
- при характеристиках Бессея – 7,7 дБ;
- толчкового фильтра – 9,7 дБ.

Сопротивление:

- входное – не менее 100 кОм;
- выходное – не более 50 Ом;
- нагрузки – не менее 8 кОм.

Режимы работы фильтра:

- фильтр верхних частот Баттерворта;
- фильтр нижних частот Баттерворта;
- фильтр нижних частот Бессея;
- толчковый фильтр;
- линейный фильтр.

Для создания современного цифрового измерительного комплекса использовался измерительный комплекс MIC-200 с модулями MC-114 производства НПП «Мера» [7]. Блок-схема измерительного комплекса MIC-200 с модулями MC-114 приведена на рис. 3.

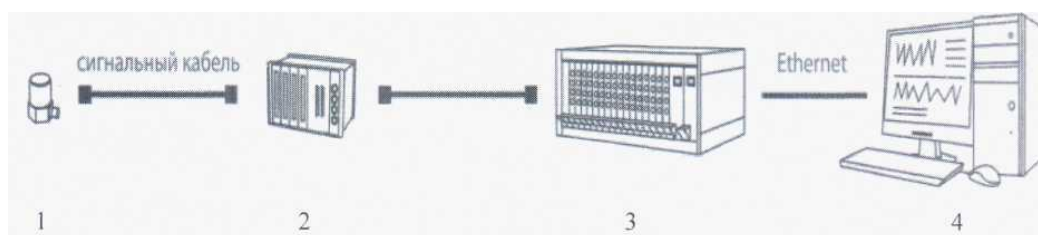


Рис. 3. Блок-схема измерительного комплекса:

1 – вибропреобразователь; 2 – блок усилителей 00028 и фильтров 01014; 3 – измерительный комплекс MIC-200 с модулями MC-114; 4 – модуль хранения информации

Коммутация вибропреобразователя с блоком усилителей 00028 и фильтров 01014 осуществлялась с помощью штатного кабеля. Для коммутации выходного разъема фильтра 01014 с модулями MC-114 также использовался штатный кабель производства VEB Robotron-Messelektronik Dresden, который был доработан (добавлен делитель напряжения) и припаян к штатному разъему модуля MC-114. Краткие технические характеристики модуля MC-114 приведены на рис. 4.

**Результаты исследований.** Отладка и настройка измерительного комплекса MIC-200 с модулями MC-114 проводилась следующим образом.

Для получения сигнала использовался калибратор АТ-01, генерирующий синусоидальную

вибрацию на частоте 160 Гц, величиной  $СКЗ-10 \text{ мс}^{-2}$ . При этом фильтр 01014 переключался в положение «линейный».

В соответствии с руководством пользователя «Программа управления комплексом MIC RECORDER» [8] была создана конфигурация, проверена работоспособность. С помощью средств программы RECORDER проведена калибровка. В режиме просмотра проведено осциллографирование сигнала. Также была снята амплитудно-частотная характеристика измерительного комплекса в диапазоне частот 10-500 Гц с помощью электромеханического калибратора. В результате отклонение амплитуд оказалось не более 1%.

| Измеряемые величины         | Тип модуля | Кол-во каналов | Диапазон измерения                                                                                                    | Предел приведенной погрешности |                             |
|-----------------------------|------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
|                             |            |                |                                                                                                                       | основной                       | дополнительной <sup>2</sup> |
| Напряжение постоянного тока | MC-114     | 16/32          | -10...+10 В<br>-5...+5 В<br>-2,5...+2,5 В<br>-1,25...+1,25 В<br>-0,625...+0,625 В<br>-0,1...+0,1 В<br>-0,05...+0,05 В | $\pm 0,025\%^*$                | 0,025%                      |
|                             |            |                | -0,025...+0,025 В<br>-0,02...+0,02 В                                                                                  | $\pm 0,05\%^*$                 | 0,025%                      |

Рис. 4. Краткие технические характеристики модуля MC-114

Для проведения измерений вибрации на рабочих местах и сидениях пассажиров на железнодорожном подвижном составе необходимо выделить с помощью фильтров полосу частот измеряемого сигнала от 1 до 80 Гц, провести измерения и записать их результаты с помощью управляющей программы RECORDER. Далее средствами программы Win ПОС [9] производится обработка результатов измерений. Программа имеет много опций для обработки сигналов, что открывает ранее недоступные возможности перед инженерами-испытателями. Пример окна настройки Win ПОС приведен на рис. 5.

Стойкость к механическим внешним воздействующим факторам оборудования железнодорожного состава также может быть оценена по величинам виброускорений, виброскорости или виброперемещений, измеренных с помощью данного комплекса. Действия при этом аналогичны описанным выше. Обработка записанных сигналов с помощью программы Win ПОС позволяет инженерам решать задачи любой сложности.

Значительным преимуществом данного измерительного комплекса является возможность осциллографирования в режиме реального времени с одновременным отображением значений (амплитуд, размахов, СКЗ). Данная возможность

позволит проводить работы по диагностике, настройке и исследованиям состояния технических систем в широком спектре эксплуатационных нагрузок.

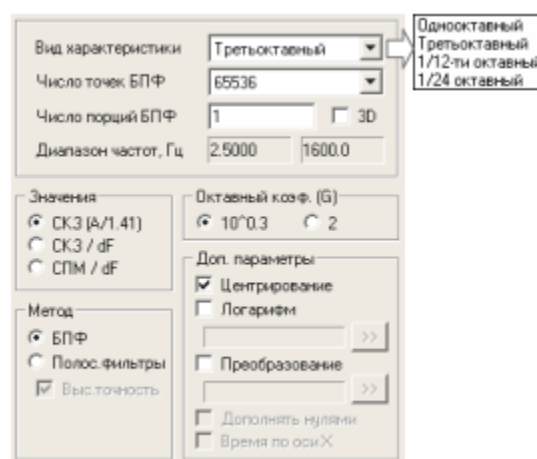


Рис. 5. Окно настройки программы Win ПОС для расчета октавного спектра

**Выводы.** Данный измерительный комплекс MIC-200 с модулями MC-114 позволяет проводить измерения механических колебаний в широком диапазоне, обрабатывать опытные данные с помощью имеющихся программных средств,

позволяющих значительно расширить возможности аналоговой аппаратуры. В первую очередь будет обеспечена возможность оперативного или в режиме реального времени получения результатов измерений. Такие возможности значительно ускорят решение многих технических задач.

Практическую значимость статья имеет для испытательных организаций машиностроительных предприятий, проводящих работы в данной области и располагающих соответствующими средствами измерительной техники.

#### Л и т е р а т у р а

1. ТР ТС 001/2011. Технический регламент ТС «О безопасности железнодорожного подвижного состава». Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 г. № 710.

2. СП.2.5.1236-2003. Санитарные правила по проектированию, изготовлению и реконструкции локомотивов и специального подвижного состава железнодорожного транспорта. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2003 №112. Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат». 2007.

3. ГОСТ 30631-99. Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации. ИПК, издательство стандартов. 1999.

4. ГОСТ 17516.1-90. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам. – М.: Стандартинформ. 2007.

5. Интегрирующий усилитель. Инструкция по обслуживанию. VEB Robotron-Messelektronik. Otto Shon. Dresden.

6. Блок фильтра 01014, универсальный фильтр 01015. Инструкция по обслуживанию. Часть 1. VEB Robotron-Messelektronik. Otto Shon. Dresden.

7. БЛИЖ.401250.001РЭ. Комплексы измерительно-вычислительные МИС. Руководство по эксплуатации. НПП «Мера». 2010.

8. Программа управления комплексом МИС RECORDER. Руководство пользователя. НПП «Мера». 2020.

9. 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.**

#### INTEGRATION OF PRECISION ANALOG MEASURING EQUIPMENT INTO A MODERN DIGITAL MEASURING COMPLEX

*The article considers the possibility of integrating precision analog measuring equipment into a modern digital measuring complex that has software tools for measuring, recording and storing, as well as processing the obtained experimental data. This article may be useful to engineers of machine-building enterprises who are directly involved in testing manufactured equipment, carrying out work on diagnostics, tuning and research of the state of technical systems in a wide range of operational loads.*

**Key words:** *analog measuring equipment, measuring complex, vibration and impact, rolling stock, vibration transducer, oscilloscope, measuring complex.*

**Киреев Андрей Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** lifter\_23@mail.ru

**Kireev Andrey**, Dr. Sci., professor of the department of "Railway transport", SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Дмитrienko Александр Борисович**, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** a.dmitrienko71@mail.ru

**Dmitrienko Alexandr**, senior lecturer of the department of "Railway transport", SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Атрошенко Денис Валерьевич**, ассистент кафедры «Автомобильный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** denis\_mihalich@mail.ru

**Atroshenko Denis**, assistant of the Department of "Automobile transport", SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Замота Тарас Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Автомобильный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 16.05.2022*

УДК 620.179.16

## ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И АГРЕГАТОВ

Киреев А.Н., Киреева М.А.

## DIAGNOSTIC MODEL OF AN IMPROVED PROCESS OF ULTRASONIC DIAGNOSTICS OF MACHINE PARTS AND UNITS

Kireev A.N., Kireeva M.A.

*Статья посвящена актуальной теме разработки логической диагностической модели процесса ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов на базе разработанных новых методов ультразвуковой дефектометрии. Проведен обзор и анализ новых методов ультразвуковой дефектометрии, таких как: метод безэталонной настройки функции временной регулировки чувствительности ультразвуковой аппаратуры; двухчастотный метод ультразвуковой дефектометрии, позволяющий определять тип обнаруженного в процессе диагностирования дефекта (плоскостной или объемный); метод определения угла наклона плоскостного точечного дефекта к поверхности ввода ультразвуковой волны и коэффициента корректировки чувствительности ультразвуковой аппаратуры; метод безэталонного определения эквивалентного размера дефектов различного типа; метод визуализации изображений дефектов. Представлена логическая диагностическая модель в виде блок-схемы.*

**Ключевые слова:** диагностирование, неразрушающий контроль, ультразвуковой контроль, дефект, дефектометрия, двухчастотный метод.

**Введение.** При использовании машин и агрегатов в различных отраслях народного хозяйства, будь то металлургия, угольная промышленность, транспортная инфраструктура, энергетика и другие, возникает множество аварийных ситуаций. Количество таких ситуаций можно в значительной степени уменьшить или вовсе исключить, если с высокой степенью достоверности определять техническое состояние машин и агрегатов на разных стадиях их жизненного цикла.

При изготовлении и эксплуатации детали и узлы машин и агрегатов подвергаются комплексу мероприятий технического диагностирования для определения их технического состояния. Определение технического состояния позволяет обеспечить качество при изготовлении, увеличить вероятность безотказной работы и коэффициент готовности в эксплуатации, а также повысить безопасность эксплуатации машин и агрегатов.

В комплекс мероприятий технического диагностирования машин и агрегатов входят операции ультразвукового неразрушающего контроля [1, 2] деталей на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей.

**Цель научного исследования** – разработка логической диагностической модели усовершенствованного процесса ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов.

**Анализ усовершенствованного процесса ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов.** Технологический процесс ультразвукового диагностирования включает в себя следующие последовательно выполняемые операции: подготовка объекта к проведению ультразвукового диагностирования; настройка ультразвукового дефектоскопа; поиск и выявление несплошностей; определение координат и оценка допустимости несплошностей; оценка качества объекта и оформление результатов диагностирования.

Для повышения достоверности результатов ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов в работах [3-6] получен математический аппарат и на его основе разработан метод безэталонной настройки функции временной регулировки чувствительности (ВРЧ) при настройке ультразвукового дефектоскопа при применении различных типов эталонных отражателей и учете ослабления ультразвуковой волны в объекте диагностирования по разным отражающим поверхностям. Разработанный метод позволяет исключить при настройке дефектоскопа стандартные образцы предприятия с присущими им недостатками (несовершенство изготовления эталонных отражателей, разница затухания ультразвуковой волны по сравнению с объектом диагностирования).

Для автоматизации расчетов для реализации предложенного метода разработана подпрограмма «ПП1 ВРЧ» программы «Комплекс NDTRT». Данная подпрограмма позволяет рассчитать данные

для настройки функции ВРЧ, такие как: коэффициент усиления ультразвукового дефектоскопа, диапазон ультразвукового дефектоскопа, маркеры ВРЧ и соответствующие им уровни ВРЧ; по введенным следующим данным: параметры преобразователя (диаметр пьезоэлектрического элемента, частота ультразвуковой волны), параметры объекта диагностирования (скорость ультразвуковой волны, расстояние до отражающей поверхности, по которой осуществляется учет ослабления ультразвуковой волны в объекте диагностирования, амплитудная характеристика эхо-сигнала от отражающей поверхности, по которой осуществляется учет ослабления ультразвуковой волны в объекте диагностирования), пороговое значение размера эталонного отражателя (задается нормативной документацией).

Для повышения достоверности и информативности результатов ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов в работах [3, 7, 8] предложен двухчастотный метод ультразвуковой дефектометрии определения типа обнаруженных в процессе диагностирования точечных и протяженных несплошностей (объемная или плоскостная). Сущность метода заключается в измерении амплитудных характеристик эхо-сигналов от обнаруженной несплошности на частоте ультразвуковой волны 2,5 и 5,0 МГц, определении коэффициента формы несплошности и сравнении его с граничными значениями, одно из которых соответствует плоскостной, другое – объемной несплошности. Несплошность считается плоскостной или объемной, если значение коэффициента формы не более чем на 30% отличается от соответствующего граничного значения.

Для автоматизации двухчастотного метода ультразвуковой дефектометрии разработана подпрограмма «ПП2 двухчастотный метод» программы «Комплекс NDTRT». Данная подпрограмма позволяет определить тип обнаруженной несплошности по введенным следующим данным: расстояние от поверхности ввода ультразвуковой волны до донной поверхности; амплитудные характеристики донных эхо-сигналов на частотах ультразвуковой волны 2,5 и 5,0 МГц, амплитудные характеристики эхо-сигналов от несплошности на частотах ультразвуковой волны 2,5 и 5,0 МГц.

Плоскостная несплошность в объекте диагностирования может располагаться под углом к поверхности ввода ультразвука, что уменьшает амплитудную характеристику эхо-сигнала от нее, вследствие чего она может быть недостаточно оценена. В работе [9] предложен метод определения угла наклона плоскостной точечной несплошности к поверхности ввода ультразвуковой волны и коэффициента корректировки чувствительности ультразвуковой аппаратуры для повышения

достоверности результатов ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов.

В работе [10] разработан метод определения является ли точечная несплошность объемной или плоскостной, расположенной под углом к поверхности ввода ультразвуковой волны, для решения вопросов неоднозначности при проведении процесса дефектометрии.

В работах [3, 11] представлен математический аппарат и на его основе разработан безэталонный метод определения эквивалентных размеров несплошностей разных типов при ультразвуковом диагностировании деталей машин и агрегатов.

Для автоматизации расчетов при определении эквивалентного размера несплошностей была разработана подпрограмма «ПП3 эквивалентный размер» программы «Комплекс NDTRT». Данная программа позволяет определить эквивалентные размеры несплошностей разных типов: точечных объемных и плоскостных; протяженных объемных и плоскостных; точечной плоскостной, расположенной под углом к поверхности ввода ультразвуковой волны.

Для визуализации изображений несплошностей, обнаруженных в объекте в процессе ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов, на основе вышеперечисленных методов дефектометрии разработана подпрограмма «ПП4 визуализация» программы «Комплекс NDTRT». Визуализация достигается путем представления В- и С-сканов контролируемого участка объекта диагностирования.

**Разработка диагностической модели усовершенствованного процесса ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов.** Усовершенствованная методика ультразвукового диагностирования на основе разработанных новых методов дефектометрии отличается от классической методики следующим:

- настройка функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа осуществляется при помощи разработанного безэталонного метода с применением подпрограммы «ПП1 ВРЧ» программы «Комплекс NDTRT»;

- при выявлении в объекте диагностирования эхо-сигнала от несплошности осуществляется определение типа несплошности при помощи разработанного двухчастотного метода ультразвуковой дефектометрии и подпрограммы «ПП2 двухчастотный метод» программы «Комплекс NDTRT»;

- классификация несплошностей как допустимых или как дефектов осуществляется не оценкой по амплитудной характеристике, а путем сравнения эквивалентного размера несплошности, определенного с помощью разработанного метода, со значением, установленным технической документацией на изделие, при помощи подпрограммы «ПП3 эквивалентный размер» программы «Комплекс NDTRT»;

– в случае обнаружения несплошностей в объекте диагностирования к протоколу по результатам диагностирования прилагаются В- и С-сканы контролируемого участка изделия с изображением несплошностей, полученные при помощи подпрограммы «ПП4 визуализация» программы «Комплекс NDTRT».

Была разработана логическая диагностическая модель процесса ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов на базе усовершенствованной общей методики. Диагностическая модель в виде блок-схемы представлена на рис. 1.

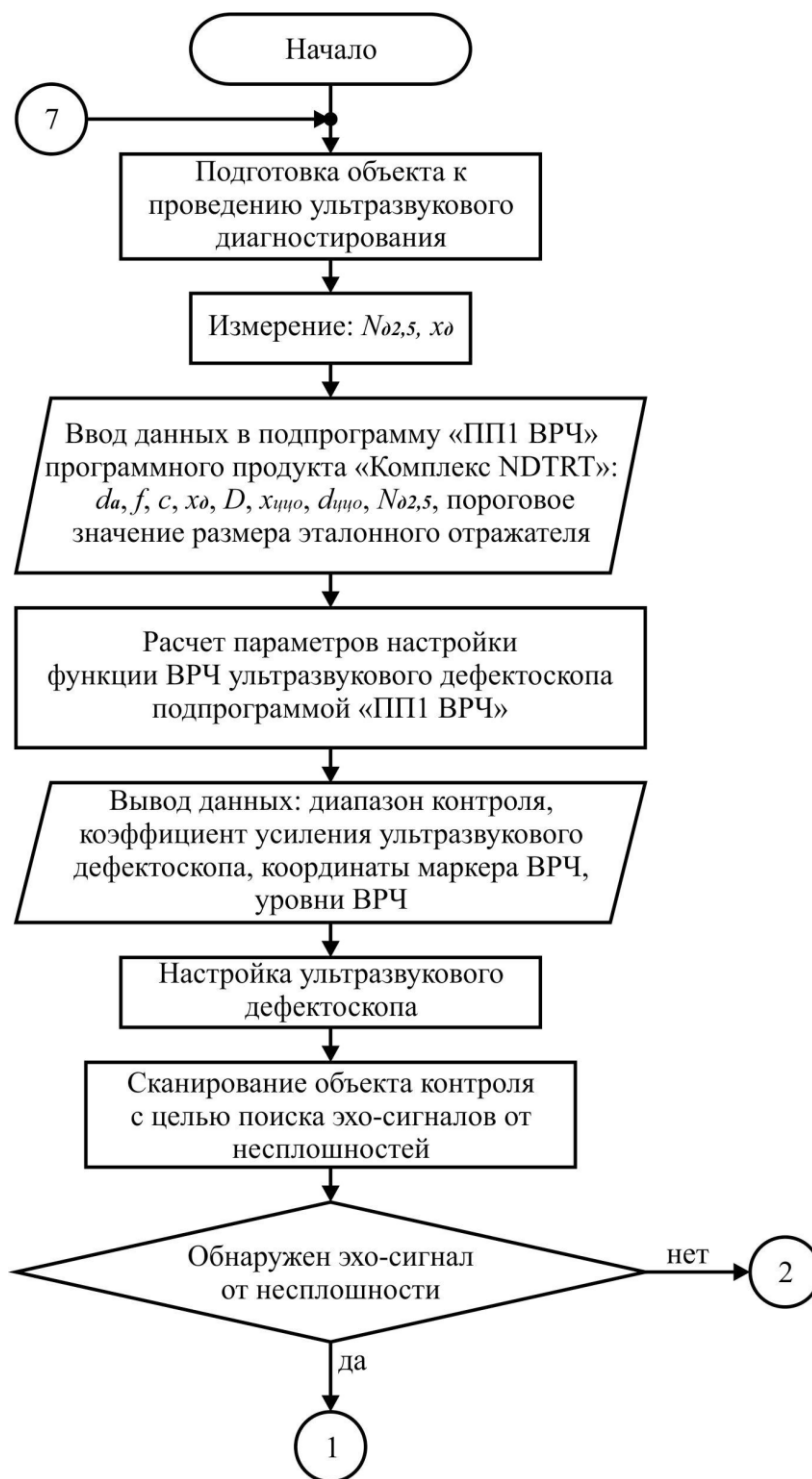


Рис. 1 (начало). Логическая диагностическая модель процесса ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов

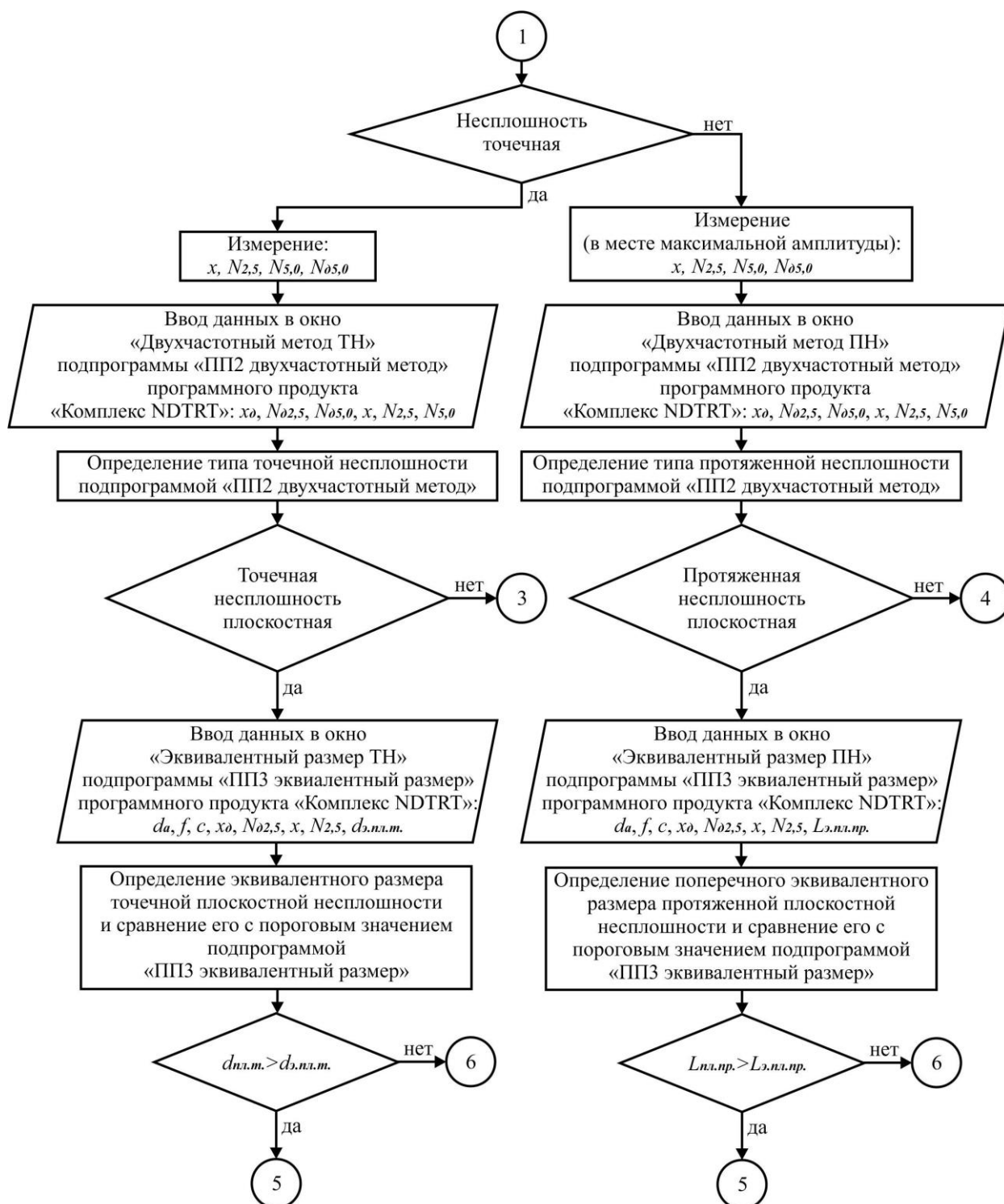


Рис. 1 (продолжение 1). Логическая диагностическая модель процесса ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов

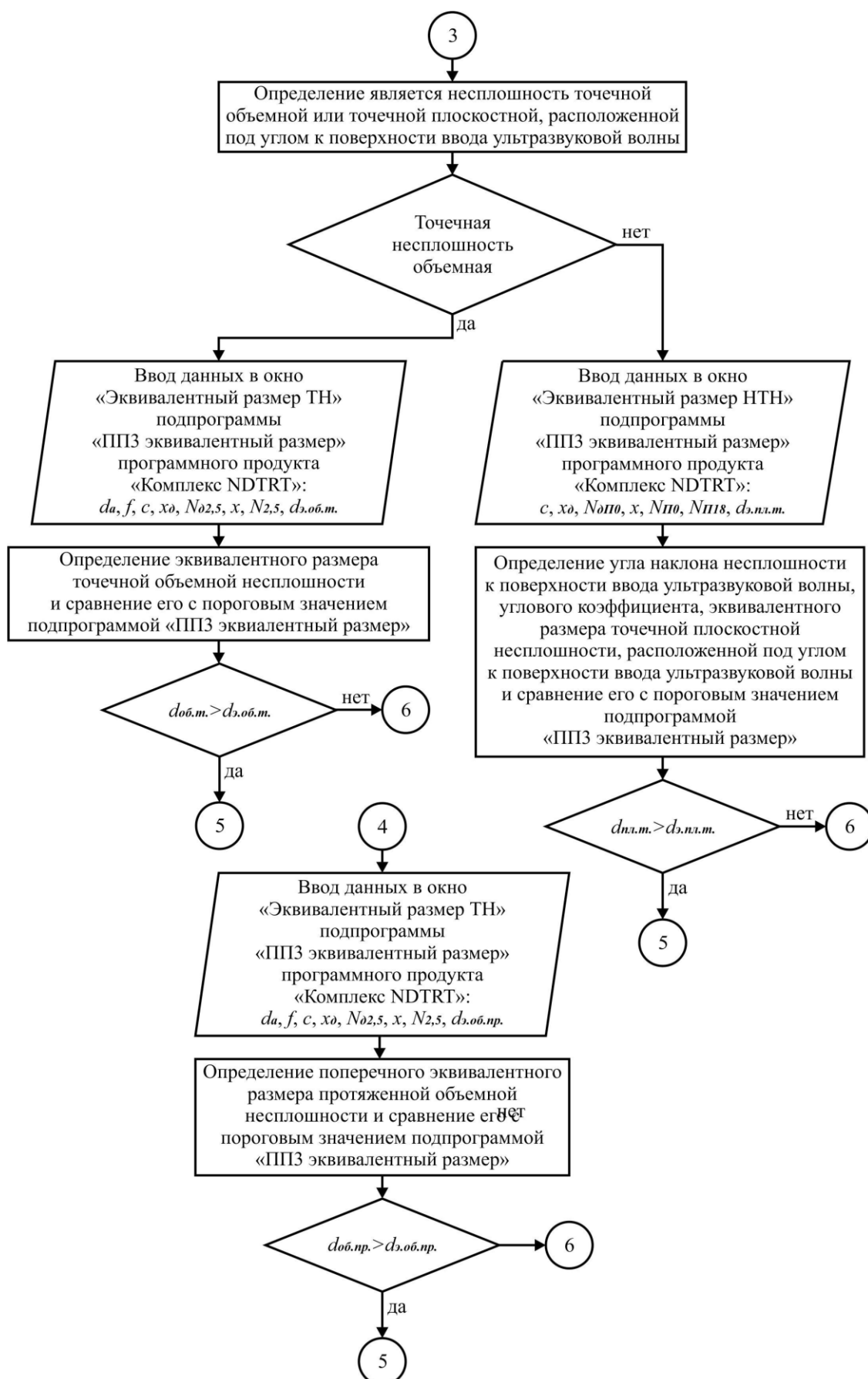
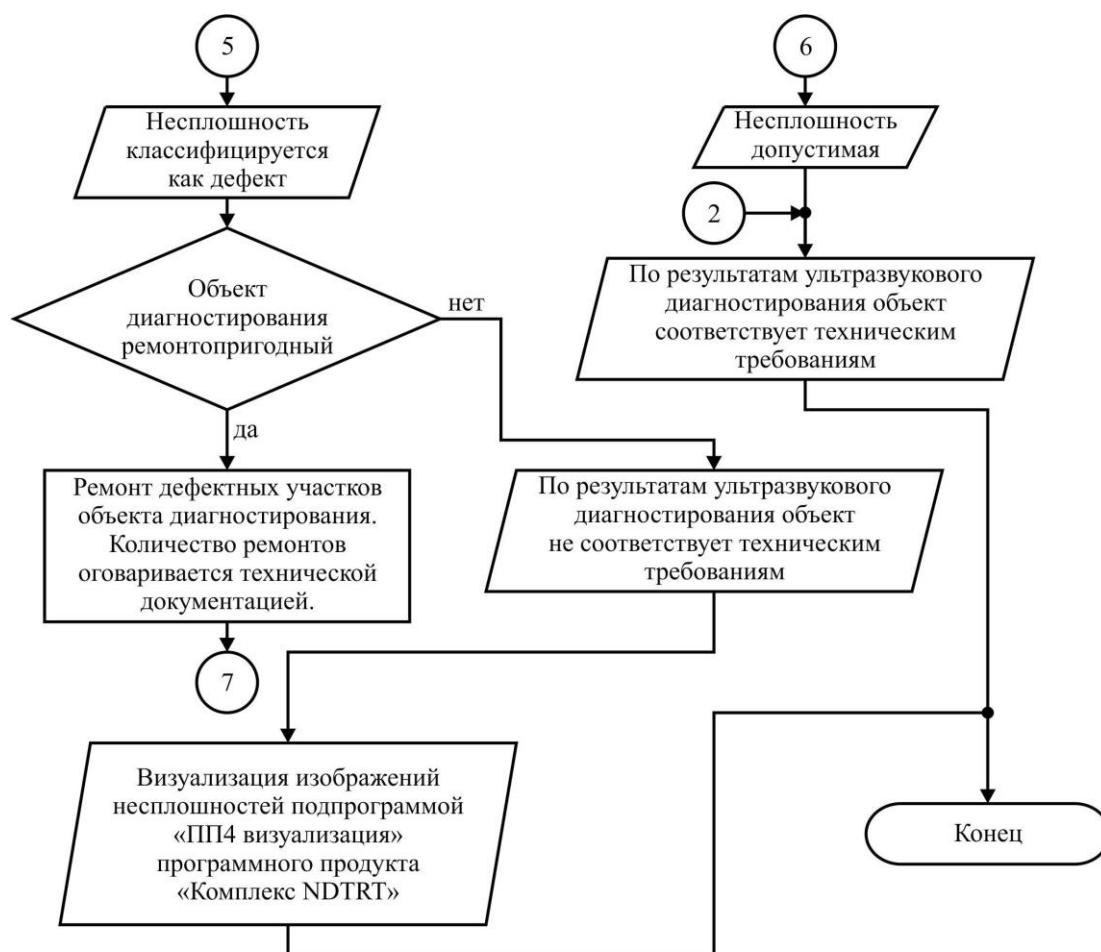


Рис. 1 (продолжение 2). Логическая диагностическая модель процесса ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов



**Идентификация функций и переменных в логической диагностической модели ультразвукового диагностирования деталей и узлов машин и агрегатов:**

$x$  - расстояние от поверхности ввода ультразвуковой волны до несплошности;  $x_d$  - расстояние от поверхности ввода ультразвуковой волны до донной поверхности;  $D$  - диаметр цилиндрического объекта диагностирования;  $x_{ццо}$  - расстояние от поверхности ввода ультразвуковой волны до центрального цилиндрического отверстия;  $d_{ццо}$  - диаметр центрального цилиндрического отверстия;  $N_{2,5}$  - амплитудная характеристика эхо-сигнала от несплошности на частоте 2,5 МГц;  $N_{5,0}$  - амплитудная характеристика эхо-сигнала от несплошности на частоте 5,0 МГц;  $N_{d2,5}$  - амплитудная характеристика донного эхо-сигнала на частоте 2,5 МГц;  $N_{d5,0}$  - амплитудная характеристика донного эхо-сигнала на частоте 5,0 МГц;  $N_{п0}$  - амплитудная характеристика эхо-сигнала от несплошности при включении преобразователя П131-2,5-0и18-ВО-04 на угол ввода 0 градусов;  $N_{п18}$  - амплитудная характеристика эхо-сигнала от несплошности при включении преобразователя П131-2,5-0и18-ВО-04 на угол 18 градусов;  $N_{dp0}$  - амплитудная характеристика донного эхо-сигнала при включении преобразователя П131-2,5-0и18-ВО-04 на угол ввода 0 градусов;  $f$  - частота ультразвуковой волны;  $c$  - скорость ультразвуковой волны в материале объекта диагностирования;  $d_a$  - площадь пьезоэлектрического преобразователя;  $d_{пл.т.}$  - эквивалентный размер плоскостной точечной несплошности;  $d_{л.т.}$  - пороговое значение эквивалентного размера плоскостной точечной несплошности;  $d_{об.т.}$  - пороговое значение эквивалентного размера объемной точечной несплошности;  $L_{пл.пр.}$  - эквивалентный поперечный размер плоскостной протяженной несплошности;  $L_{л.пр.}$  - пороговое значение эквивалентного поперечного размера плоскостной протяженной несплошности;  $d_{об.пр.}$  - эквивалентный поперечный размер объемной протяженной несплошности;  $d_{л.пр.}$  - пороговое значение эквивалентного поперечного размера

Рис. 1 (окончание). Логическая диагностическая модель процесса ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов

**Выводы.** 1. Разработанные новые методы дефектометрии позволили создать усовершенствованную общую методику ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов.

2. На базе усовершенствованной общей методики разработана логическая диагностическая модель процесса ультразвукового диагностирования деталей машин и агрегатов.

3. Усовершенствованная общая методика и логическая диагностическая модель внедрены в ЧАО «НПЦ «ТРАНСМАШ» в процесс ультразвукового диагностирования деталей подвижного состава железных дорог.

#### Л и т е р а т у р а

1. Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль: Учебное пособие / [Н.П. Алешин, В.Т. Бобров, Ю.В. Ланге и др.] под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 224 с.

2. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. Изд. 2-е испр. и доп. / Под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.

3. Киреев А.Н. Дефектометрия при ультразвуковом диагностировании элементов и систем подвижного состава железных дорог: Монография / А.Н. Киреев. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2016. – 147 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. Экспериментальные исследования безэталонных методов отстройки ВРЧ при ультразвуковом контроле деталей ПСЖД / А.Н. Киреев, В.А. Витренко // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – Екатеринбург: 2017. – № 4 (36) – С. 56-66.

6. Киреев А.Н. Двухчастотный метод ультразвуковой дефектометрии: Монография / А.Н. Киреев, В.В. Быкадоров, М.А. Киреева. – Донецк (РФ): ООО «НПФ «Фолиант», 2021. – 107 с.

7. Киреев А.Н. Дефектометрия при ручном контроле элементов и систем подвижного состава железных дорог ультразвуковым эхо-методом / А.Н. Киреев // Вестник Ростовского Государственного университета путей сообщения. – Ростов на Дону, 2015. – № 2 (58). – С. 24-30.

8. Киреев А.Н. Двухчастотный метод ультразвуковой дефектометрии: Монография / А.Н. Киреев, В.В. Быкадоров, М.А. Киреева. – Донецк (РФ): ООО «НПФ «Фолиант», 2021. – 107 с. ISBN 978-5-6045982-1-4.

9. Киреев А.Н. Диагностирование стальных поковок ультразвуковым эхо-методом / А.Н. Киреев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – М., 2016. – Том. 82 – № 12 – С. 27-30.

10. Киреев А.Н. Совершенствование методов дефектометрии при ультразвуковом диагностировании элементов экипажной части подвижного состава железных

дорог. / А.Н. Киреев // Локомотив-информ. – Харьков, 2011. – № 12. – С. 12-13.

11. Киреев А.Н. Анализ погрешности определения эквивалентного размера дефекта безэталонным методом при ультразвуковом контроле / А.Н. Киреев, М.А. Киреева // Контроль. Диагностика. – М.: 2021. – Том 24 – № 4 – С. 50-57.

**Kireev A.N., Kireeva M.A.**

#### **DIAGNOSTIC MODEL OF AN IMPROVED PROCESS OF ULTRASONIC DIAGNOSTICS OF MACHINE PARTS AND UNITS**

*The article is devoted to the actual topic of developing a logical diagnostic model for the process of ultrasonic diagnostics of machine parts and assemblies based on the developed new methods of ultrasonic flaw detection. A review and analysis of new methods of ultrasonic flaw detection, such as: a method of standard-free adjustment of the function of time adjustment of the sensitivity of ultrasonic equipment; two-frequency method of ultrasonic defect identification, which allows to determine the type of defect detected in the process of diagnosing (planar or volumetric); method for determining the angle of inclination of a planar point defect to the input surface of an ultrasonic wave and the correction factor for the sensitivity of ultrasonic equipment; method of standard-free determination of the equivalent size of defects of various types; visualization method for images of defects. A logical diagnostic model is presented in the form of a block diagram.*

**Key words:** diagnostics, non-destructive testing, ultrasonic testing, defect, defect identification, two-frequency method.

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

**E-mail:** lifter\_23@mail.ru

**Kireev Andrey**, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Railway transport» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

**E-mail:** kmagt@mail.ru

**Kireeva Margarita**, graduate student of the «Railway transport» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

*Статья подана 18.03.2022*

УДК 621.874

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ КОНСОЛЬНОГО ФЕРМЕННОГО КРАНА

Коструб В.А., Мирошников А.А.

## ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF STEEL STRUCTURE OF CANTILEVER TRUSS CRANE

Kostrub V.A., Miroshnikov A.A.

*Проблема определения остаточного ресурса кранов является актуальной в современных условиях, когда парк грузоподъемных машин, отработавших нормативный срок службы, составляет 80–85%. При этом фактическое состояние крановых конструкций позволяет продлить срок службы грузоподъемных машин, что позволяет сберечь достаточно существенные финансовые средства. В этой связи возникает необходимость определения напряженно-деформированного состояния металлоконструкций грузоподъемных машин, что позволит эффективно и научно обоснованно оценить степень их надежности и возможность дальнейшей эксплуатации. Для оценки напряженно-деформированного состояния предложен компьютерно-инженерный анализ, базирующийся на методе конечных элементов.*

**Ключевые слова:** надежность, напряженно-деформированное состояние металлоконструкции, консольный кран, остаточный ресурс, метод конечных элементов, измерительная система.

**Введение.** Согласно статистическим данным Ростехнадзора, производственный травматизм и аварийность на подъемных сооружениях занимают третье место (после травматизма в угольной и горнорудной промышленности) и составляет примерно 90 аварий в год. Парк грузоподъемных машин с истекшим нормативным сроком службы составляет порядка 80–85%. При этом их фактическое состояние позволяет продлить их эксплуатацию и тем самым сэкономить значительные средства, затрачиваемые на капитальный ремонт или приобретение новой техники. В этой связи возникает необходимость анализа их напряженно-деформированного состояния и на его основании - эффективной, научно обоснованной оценки надежности металлоконструкций грузоподъемных машин.

Грузоподъемная машина, выработавшая расчетный ресурс, подлежит обязательной проверке для принятия решения о дальнейшей эксплуатации, то есть оценке ее остаточного ресурса. Методы определения остаточного ресурса особо опасных объектов, поднадзорных Ростехнадзору,

сформулированы в методических указаниях РД 10-112-1-04 [1] и методических указаниях по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы РД 10-112-96 [2], и РД 10-112-5-97 [3]. Одним из важных этапов методики является уточнение напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов металлоконструкции грузоподъемных машин. Поставленная инженерная задача решается методами строительной механики. Следует отметить, что конструкции грузоподъемных машин представляют собой сложные непрерывные системы, анализ которых занимает большой объем времени и не всегда приводит к желаемому результату. В данное время широко применяется компьютерно-инженерный анализ, который базируется на методе конечных элементов. Он актуален при расчетах самых разнообразных строительных конструкций. Поэтому проведение расчетов несущих металлоконструкций с помощью компьютерно-инженерного анализа представляет собой весьма актуальную задачу.

### Изложение основных материалов.

Рассмотрим ферменную металлоконструкцию консольного крана (рис. 1). Данная металлоконструкция крана состоит из главной фермы, воспринимающей посредством уложенного на ее верхнем поясе подтележечного рельса нагрузку от действия силы тяжести тележки с грузом, и параллельно расположенной вспомогательной фермы. Главная и вспомогательная фермы связаны между собой верхней и нижней горизонтальными фермами, воспринимающими горизонтальные нагрузки, действующие на мост при пуске или торможении крана. Верхний и нижний пояса главной фермы, а также стержни верхней и нижней фермы выполнены из уголкового профиля. Такая металлоконструкция в сравнении с балочной имеет меньший вес и меньшее время затухания колебаний.

Создание расчетной 3D-модели проводилось с соблюдением всех геометрических размеров реальной конструкции, то есть в масштабе 1:1. Общая сборка модели выполнена с учетом правил

контактной геометрии между металлическими профилями. Свойства материала указаны в соответствии с ГОСТ 380-2005 для стали 3. Граничные условия описаны в виде шарнирного крепления модели в пространстве. В исследовании напряженно-деформированного состояния металлоконструкции задается следующая нагрузка:

сила нагружения, равная 0,15 т, от грузовой лебедки с грузом и распределенная сила тяжести от собственного веса конструкции. Для расчета применялась конечно-элементная сетка комбинированного типа на базе линейного тетраэдрального и параболического элементов.



Рис. 1. Общий вид металлоконструкции консольного крана

Результаты расчета представлены на рис. 2 и 3, где показаны эпюры напряженно-деформированного состояния металлоконструкции.

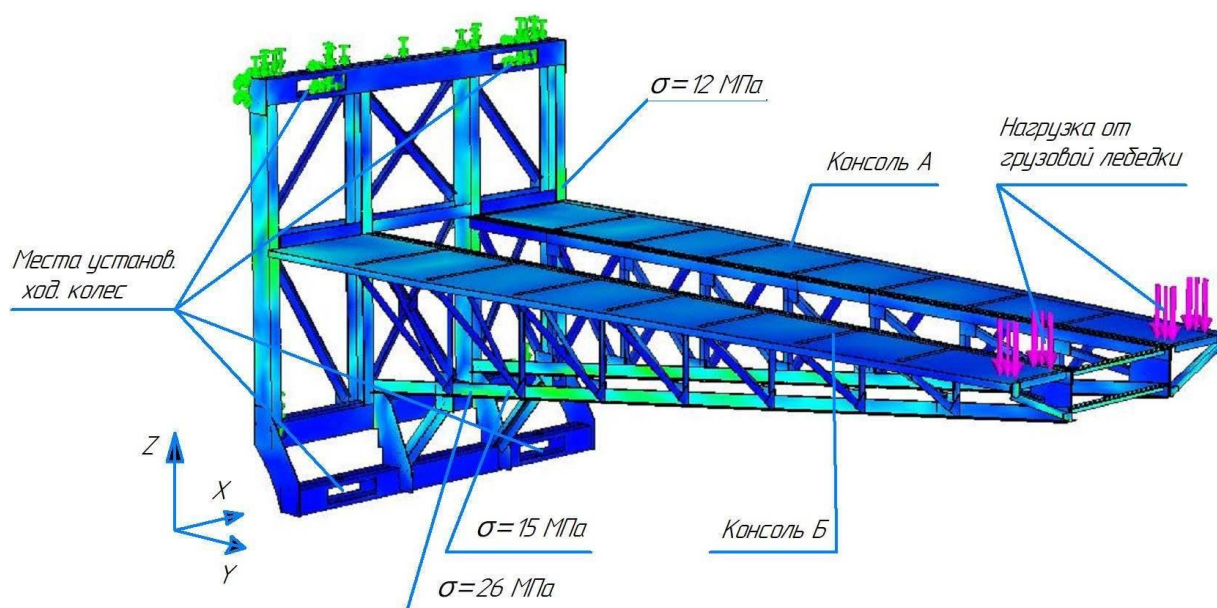


Рис. 2. Эпюра напряжений в металлоконструкции ферменного консольного крана

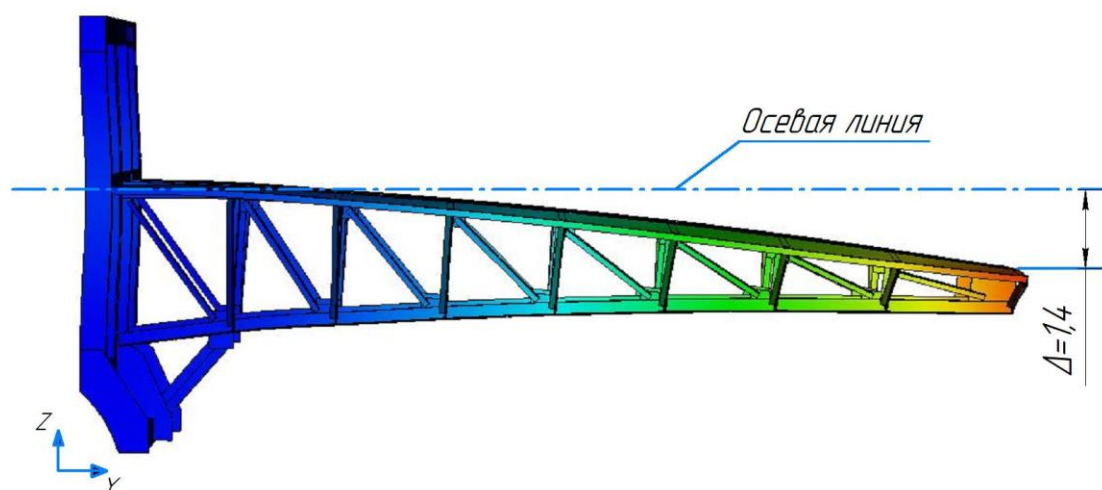


Рис. 3. Эпюра перемещений в металлоконструкции консольного крана

Анализ результатов расчета позволяет сделать вывод, что максимальные напряжения распределяются в нижнем поясе металлоконструкции и равны 26 МПа, максимальный прогиб под нагрузкой составляет 1,4 мм.

Рассмотрим экспериментальную оценку напряженно-деформированного состояния металлоконструкции ферменного консольного крана с помощью многоканальной тензометрической системы. Измерение НДС выполнено с помощью тензодатчиков по типу полумостовой схемы. Датчики наклеены в более нагруженной зоне металлоконструкции нижнего пояса второго раскоса (рис. 4).



Рис. 4. Расположение тензометрических датчиков в нижнем поясе второго раскоса

Сопротивление датчиков  $R$  равно 100 Ом. Датчики подключаются к тензометрической системе на базе АЦП Е 14-140-М [4].

После тарировки [5] и калибровки баланса моста в нулевой точке произведено нагружение

металлоконструкции с помощью груза, нагрузка аналогична расчетной и равна 0,15 т. Изменения сопротивления тензодатчиков регистрирует программа PowerGraph, выполняющая функцию осциллографа. Результаты записи осциллограммы во время нагружения металлоконструкции показаны на рис. 5.

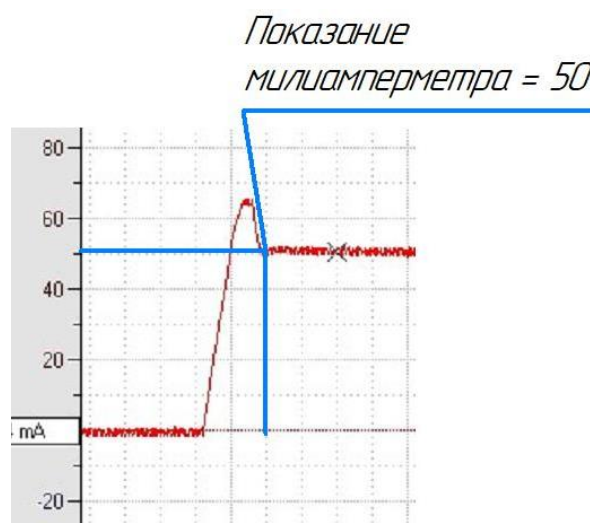


Рис. 5. Результаты записи осциллограммы во время нагружения металлоконструкции консольного крана

Полученное значение силы тока равно 50 мА. Используя результаты тарировки [5], переводим полученный результат в напряжение и получаем 25 МПа. Как видно из полученной аналитически эпюры напряжений в металлоконструкции (рис. 2), максимальное значение напряжения составляет 26 МПа. Выполненная экспериментальная оценка напряжений в данной точке (рис. 4, 5) показала результат, равный 25 МПа. Таким образом, можно сделать вывод о хорошей корреляции теоретических и экспериментальных результатов, разница составляет 4%.

**Выводы.** Расчет напряженно-деформированного состояния несущих металлоконструкций грузоподъемных кранов с помощью компьютерно-инженерного анализа позволяет получить наглядную картину распределения полей напряжений. Результаты напрямую зависят от адекватности построения расчетной 3D-модели. Проведенный эксперимент показывает, что полученные результаты близки к расчетным теоретическим значениям.

#### Л и т е р а т у р а

1. Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 1. Общие положения. РД 10-112-1. – М. – РосЭК. – 1996. – 14 с.
2. РД 10-112-96 Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 1. Общие положения.
3. РД 10-112-5-97 Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 5. Краны мостовые и козловые.
4. Коструб В.А., Мирошников А.А. Разработка мобильной многофункциональной измерительной лаборатории на базе АЦП // Механическое оборудование металлургических заводов. – 2020. – № 2 (15). – С. 49-55.
5. 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.

**Kostrub V.A., Miroshnikov A.A.**

#### **ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF STEEL STRUCTURE OF CANTILEVER TRUSS CRANE**

*The problem of determining the residual life of cranes is relevant in modern conditions, when the fleet of lifting machines that have worked out the standard service life is 80-*

*85%. At the same time, the actual condition of crane structures allows you to extend the service life of lifting machines, which allows you to save quite significant financial resources. In this regard, there is a need to determine the stress-strain state of metal structures of lifting machines, which will allow an effective and scientifically reasonable assessment of the degree of their reliability and the possibility of further operation. Computer-engineering analysis based on finite element method is proposed for evaluation of stress-strain state.*

**Key words:** reliability, stress-strain state of steel structure, cantilever crane, residual life, finite element method, measuring system.

**Коструб Владимир Алексеевич**, к.т.н., доц., зав. кафедрой «Подъемно-транспортная техника» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**Kostrub Vladimir**, candidate of technical Sciences, associate professor, man of department of the «Chair Hoisting-and-transport equipment SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Мирошников Алексей Александрович**, старший преподаватель кафедры «Подъемно-транспортная техника» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** topalexengineering@gmail.com

**Miroshnikov Aleksey**, senior teacher of the «Chair Hoisting-and-transport equipment», SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Замота Тарас Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 15.03.2022*

УДК 629.113.004

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ЗАЖИГАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Крупница О.В.

## MATHEMATICAL MODEL OF TRANSIENT PROCESSES IN THE IGNITION SYSTEM OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Krupica O.V.

*В статье рассматриваются исследования и анализ динамики высоковольтных генерирующих систем. Объектом исследования является переходные процессы при работе системы зажигания ДВС, смоделированные набором из двух индукционных катушек с открытым ферромагнитным сердечником, который представляет собой катушку зажигания. Суть исследования заключалась в получении математической модели и дальнейшей диагностики неисправностей системы зажигания автомобиля. Статья содержит результаты теоретического анализа, подкрепленные цифровым моделированием. Проведенные эксперименты подтверждают целесообразность проведенных анализов и возможность моделирования реальных объектов.*

**Ключевые слова:** математическая модель, катушка зажигания, система зажигания автомобиля, диагностика, осциллограммы напряжения.

**Введение.** Работоспособное состояние системы зажигания двигателя внутреннего сгорания оказывает существенное влияние на работу автомобиля. Задача этой системы состоит в обеспечении электрической искры необходимой мощности и в нужное время для воспламенения топливно-воздушной смеси в цилиндре ДВС.

Поэтому необходима диагностика работы двигателя и особенно его системы зажигания, так как она оказывает существенное влияние на процесс сгорания и, следовательно, на мощность, крутящий момент, расход топлива и токсичность выхлопных газов.

Системы зажигания современных автомобилей моделируются электрическими цепями, математическое описание которых в общем случае представлено системой нелинейных уравнений [1-4]. Исследование динамики систем зажигания затруднено, а результаты анализа и цифрового моделирования отличаются от экспериментальных результатов. Поскольку классический подход к анализу электрических систем и их моделированию обычно игнорирует эффекты неидеальности компонентов, он не всегда позволяет получить точные математические модели.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Применение исчисления дробного порядка к электрическим цепям открыло новую область, которая дает возможность аппроксимировать реальные элементы до такой степени, которая была невозможна при использовании классического (целочисленного порядка) подхода.

Существует множество взаимосвязанных электрических и магнитных явлений в системах зажигания, к которым можно применить дифференциальное исчисление. К ним относятся потери в отдельных элементах, релаксация диэлектрических материалов, электрохимические процессы, магнитная неоднородность, нелинейность и просто условия эксплуатации, например, температура.

В течение многих лет значительно увеличилось количество исследований, посвященных практическому применению исчисления дробного порядка. Обзор практических применений этого исчисления дан в работах по исследованию электротехнических узлов и устройств (суперконденсаторы, резисторы с памятью, именуемые «мемристорами») [5, 6], а также катушки индуктивности со скин-эффектом [4] и с дробной взаимной индуктивностью [7, 8]. Элементы дробного порядка  $C$  и  $L$ , описываемые дифференциалами дробного порядка и интегральным исчислением, вводятся как обобщение классических элементов. Представляется, что математические модели динамических систем дробного порядка лучше описывают явления (процессы), происходящие в реальных объектах. Это также верно для электрических цепей, таких как системы зажигания, где предполагается существование гипотетических квазиемкостных и квазииндуктивных компонентов, а отношения между токами и напряжениями или напряжениями и токами определяются производной дробного порядка.

**Цель исследования.** Настоящая работа посвящена задаче анализа работы в динамических

состояниях систем, генерирующих высокие напряжения, а именно систем зажигания, и их математическому описанию с использованием исчисления дробного порядка [4]. Основная цель – разработка математической модели переходных процессов в системе зажигания ДВС, состоящих из двух индукционных катушек с учетом магнитной связи дробного порядка.

**Материалы и результаты исследования.** Для определения производных дробного порядка используются соответствующие методы аппроксимации для определения обратного преобразования Лапласа систем дробного порядка, включая метод разложения непрерывных дробей (РНД).

Определение производной получается из определения дробного интеграла Римана-Лиувилля, который является обобщением формулы интеграла  $n$ -го порядка:

$$I^n y(x) = \int_0^x \int_0^{x_1} \dots \int_0^{x_{n-1}} y(x_0) dx_0 \dots dx_{n-2} dx_{n-1} = \frac{1}{(n-1)!} \int_0^x \frac{1}{(x-t)^{1-n}} y(t) dt. \quad (1)$$

Классическое дифференциальное исчислении представлено известной формулой:

$$\frac{dy}{dx} f(x) = I^{k-n} \frac{d^k}{dx^k} f(x), \quad (2)$$

где функция  $f(x)$  дифференцируема  $n$  раз на интервале  $[a, b]$ ,  $k, n \in \mathbb{N}$ ,  $k > n$ .

Производной порядка  $\alpha$  ( $\alpha \in \mathbb{R}_+$ ) в смысле Капуто является оператор:

$${}_0^C D_t^\alpha f(t) = I^{k-\alpha} \frac{d^k}{dt^k} f(t) = \frac{1}{\Gamma(k-\alpha)}. \quad (3)$$

Одной из особенностей производной Капуто является то, что начальные условия включают производные целого порядка. Эти производные имеют более полный физический смысл, чем производные дробного порядка.

Метод преобразования Лапласа – очень часто используемый инструмент для решения дифференциальных уравнений. Соотношения, на основе которых определяется преобразование Лапласа производных дробного порядка, можно определить, используя соотношение для преобразования классической производной  $n$ -го порядка:

$$L\{f^n(t); s\} = s^n F(s) - \sum_{k=0}^{n-1} s^{n-k-1} f^{(k)}(0), = s^n F(s) - \sum_{k=0}^{n-1} s^k f^{(n+k+1)}(0), \quad (4)$$

и преобразование отображения функции:

$$L\{f(t)g(t); s\} = F(s)G(s), \quad (5)$$

Таким образом, для производных дробного порядка используем зависимость Римана-Лиувилля для  $n-1 \leq \alpha < n$ :

$$L\{{}_0^{RL} D_t^\alpha f(t); s\} = s^\alpha F(s) - \sum_{k=0}^{n-1} s^k [{}_0^{RL} D_x^{\alpha-k-1} f(t)]. \quad (6)$$

Практическое применение этого преобразования ограничено из-за отсутствия физической интерпретации начальных значений дробных производных для нижней границы  $t = 0$ . По аналогии можно получить формулу для дробной производной в смысле Капуто:

$$L\{{}_0^C D_t^\alpha f(t); s\} = s^\alpha F(s) - \sum_{k=0}^{n-1} s^{\alpha-k-1} f^k(0), n-1 \leq \alpha < n, \quad (7)$$

применение которых на практике гораздо шире, поскольку возникающие здесь начальные условия при  $t = 0$  касаются производных целого порядка, имеющих известные физические интерпретации.

Для производных дробного порядка преобразование Лапласа при нулевых начальных условиях равно:

$$L\{{}_0^{RL} D_t^\alpha f(t); s\} = L\{{}_0^C D_t^\alpha f(t); s\} = L\{{}_0^{RG} D_t^\alpha f(t); s\} = s^\alpha F(s), \quad (8)$$

где  $F(s)$  – преобразование Лапласа функции  $f(t)$ .

Определение обратного преобразования Лапласа осуществляется путем разложения функции на простые дроби. Поэтому дискретизация непрерывного оператора Лапласа открывает возможности для анализа систем дробного порядка. Наиболее распространенными методами, используемыми для определения обратного преобразования Лапласа систем дробного порядка, являются те, которые позволяют аппроксимировать фактор  $s^\alpha$  с помощью частного полинома, содержащего целые степени  $s$ . Одним из таких методов является метод разложения непрерывной дроби, который получается из разложения в бесконечную дробь выражения  $(1+x)^\alpha, 0 \leq \alpha \leq 1$ . Подставляя  $x = s-1$  и последовательно выражения для рассмотрения, получаются аппроксимации соответствующих порядков и, следовательно, точности.

Согласно этому методу множитель  $s^\alpha$  может быть представлен как частное многочленов переменной  $s$  и производной  $\alpha$  порядка — три переменные появляются в ней в целых степенях.

$$s^\alpha \cong \frac{N(s, \alpha)}{D(s, \alpha)} = \frac{\sum_{k=0}^A P_{Ak}(\alpha) s^{A-k}}{\sum_{k=0}^A Q_{Ak}(\alpha) s^{A-k}}, \quad (9)$$

где  $A$  – порядок аппроксимации; являются многочленами порядка  $A$ .

Как показано в публикации [9], порядок аппроксимации  $A = 5$  оказывается наиболее оптимальным. В предположении порядка аппроксимации  $\alpha = 5$  эти полиномы имеют следующий вид:

$$s^{\alpha} = \frac{P_{50}s^5 + P_{51}s^5 + P_{52}s^5 + P_{53}s^5 + P_{54}s^5 + P_{55}}{Q_{50}s^5 + Q_{51}s^5 + Q_{52}s^5 + Q_{53}s^5 + Q_{54}s^5 + Q_{55}}. \quad (10)$$

Стоит отметить, что полиномы, присутствующие в приведенных выше приближениях, содержат целые степени  $s$ , поэтому обратное преобразование можно определить с помощью известных методов.

Для анализа работы системы зажигания была принята модель катушки зажигания, для которой между двумя ее обмотками введена магнитная связь дробного порядка. При построении математической модели системы зажигания были приняты следующие упрощающие допущения:

– индуктивность, емкость и сопротивление проводов на низковольтной стороне не учитывались;

– начальное напряжение разряда устанавливалось равным напряжению на свече зажигания;

– свеча зажигания на данном этапе анализа предполагалась как разрыв цепи.

С учетом вышеизложенных предположений была построена эквивалентная схема системы зажигания с магнитной связью возбуждения катушки зажигания  $M$ , показанная на (рис. 1).

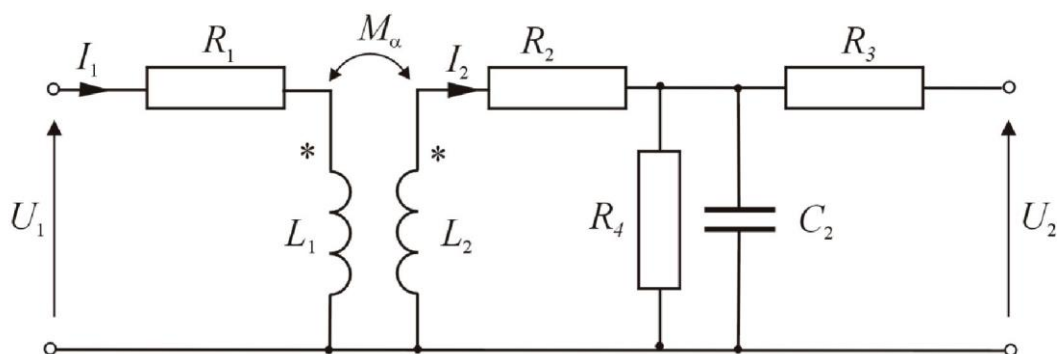


Рис. 1. Модель системы зажигания для имитационного моделирования

При анализе приняты следующие обозначения и значения параметров системы зажигания, используемые для расчетов:

$U_1 = 13$  В – напряжение аккумуляторной батареи;

$R_1 = 0,9$  Ом – сопротивление первичной обмотки катушки;

$L_1 = 0,0025$  Гн – индуктивность первичной обмотки катушки;

$L_2 = 40$  Гн – индуктивность вторичной обмотки катушки;

$R_2 = 6400$  Ом – сопротивление вторичной обмотки катушки зажигания;

$R_4 = G14 = 50$  МОм – сопротивление потерь в сердечнике катушки;

$R_3 = 5$  кВт – снижение радиопомех;

$C_2 = 170$  пФ – собственная емкость катушки.

Работу системы зажигания можно разделить на три этапа: зарядка, разрядка и искровой разряд, представленный напряжением  $U_2$  (временная форма которого  $u_2(t)$  представляет собой форму напряжения искрового разряда на свече зажигания).

Токи обычно включают или выключают в первичной цепи системы зажигания механически – электрическими или электронными переключателями. Коммутация электрической цепи сопровождается переходным состоянием напряжения и тока, что связано с наличием в цепи индуктивности и емкости. Поэтому при работе системы зажигания могут наблюдаться следующие физические допущения:

– обрыв тока в катушке зажигания;

– преобразование импульса с первичной стороны на вторичную (магнитная связь);

– высоковольтные провода считаются с нулевым сопротивлением;

– дуговой разряд на свече зажигания.

Своевременное воспламенение топливно-воздушной смеси в цилиндре в результате искрового разряда на свечу зажигания очень важно с точки зрения работы двигателя внутреннего сгорания. Разряд возникает, когда напряжение, подаваемое на электроды свечи зажигания, ионизирует газ до такой степени, что в межэлектродном пространстве может протекать электрический ток, а величина запасенной энергии позволяет инициировать этот процесс.

Искровой разряд состоит из двух фаз:

– емкостная фаза – очень короткий сильноточный импульс;

– индуктивная фаза – длительное время дугового разряда (по сравнению с емкостной фазой) при низком значении тока.

Проверка системы зажигания проводилась в несколько этапов:

1. Зарядка системы – подача напряжения аккумуляторной батареи на систему зажигания с нулем начального условия (рис. 2, а) для времени  $0 < t < t_0$ ;

2. Разрядка системы – прекращение подачи питания и размыкание первичной стороны катушки зажигания (рис. 2, б) – для времени  $t > t_0$ .

Проведем анализ работы системы зажигания на стадии зарядки.

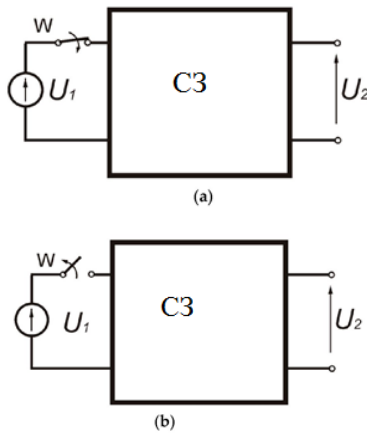


Рис. 2. Блок-схемы рабочих состояний системы зажигания (СЗ); (а) зарядка системы; (б) разрядка системы

Для диаграммы, представленной на рис. 3, на основе законов Кирхгофа можно (после

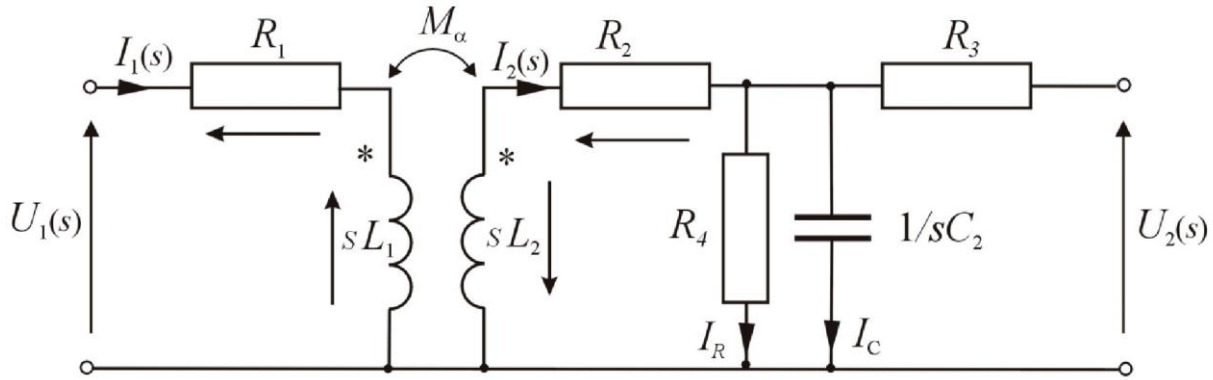


Рис. 3. Операторная схема системы зажигания после включения напряжения при нулевых начальных условиях

Заменяв  $U_1(s)$  на  $U/s$  (где  $U$  – фиксированное напряжение батареи) и заменив  $i$  на соответствующие частные полиномы (определяемые из уравнения (10)), были получены следующие уравнения:

$$\begin{cases} U_2(s) = \frac{N(s, \alpha) D(s, 2\alpha - 1) M_\alpha U}{D_1} \\ I_1(s) = \frac{U D(s, 2\alpha - 1) [(R_2 + sL_2)(G_4 + sC_2) + 1]}{D_2} \\ I_2(s) = \frac{N(s, \alpha) D(s, 2\alpha - 1) M_\alpha U (G_4 + sC_2)}{D_3} \end{cases}, \quad (13)$$

где

$$D_1 = D(s, \alpha) \{ D(s, 2\alpha - 1) \cdot [(R_1 + sL_1)(R_2 + sL_2)(G_4 + sC_2) + (R_1 + sL_1) - s^{2\alpha} M_\alpha^2 (G_4 + sC_2)] \}$$

преобразования Лапласа с нулевыми начальными условиями) записать систему уравнений:

$$\begin{cases} U_1(s) = I_1(s)(R_1 + sL_1) - s^\alpha M_\alpha I_2(s) \\ I_2(s)(R_2 + sL_2) - s^\alpha M_\alpha I_1(s) + U_2(s) = 0 \\ I_2(s) = U_2(s)(G_4 + sC_2) \end{cases} \quad (11)$$

Путем определения  $U_2(s)$ ,  $I_1(s)$  и  $I_2(s)$  из этой системы уравнений были получены следующие уравнения:

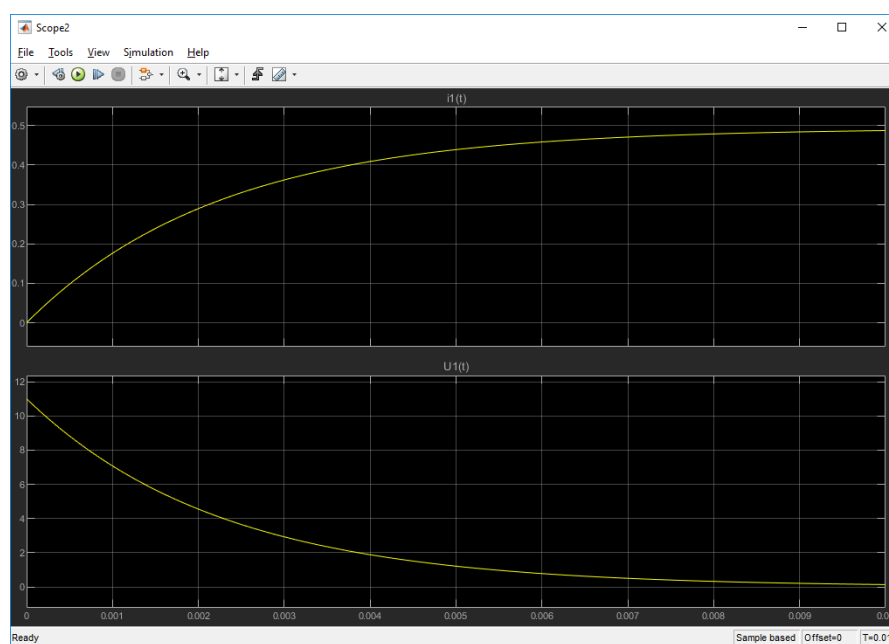
$$\begin{cases} U_2(s) = \frac{s^\alpha M_\alpha U_1(s)}{(R_1 + sL_1)(R_2 + sL_2)(G_4 + sC_2) + (R_1 + sL_1) - s^{2\alpha} M_\alpha^2 (G_4 + sC_2)} \\ I_1(s) = \frac{U_2(s)(R_2 + sL_2)(G_4 + sC_2) + 1}{(R_1 + sL_1)(R_2 + sL_2)(G_4 + sC_2) + (R_1 + sL_1) - s^{2\alpha} M_\alpha^2 (G_4 + sC_2)} \\ I_2(s) = \frac{s^\alpha M_\alpha U_1(s)(G_4 + sC_2)}{(R_1 + sL_1)(R_2 + sL_2)(G_4 + sC_2) + (R_1 + sL_1) - s^{2\alpha} M_\alpha^2 (G_4 + sC_2)} \end{cases} \quad (12)$$

$$D_2 = \{ D(s, 2\alpha - 1) \cdot [(R_1 + sL_1)(R_2 + sL_2)(G_4 + sC_2) + (R_1 + sL_1) - s^{2\alpha} M_\alpha^2 (G_4 + sC_2)] \}$$

$$D_3 = D(s, \alpha) \{ D(s, 2\alpha - 1) \cdot [(R_1 + sL_1)(R_2 + sL_2)(G_4 + sC_2) + (R_1 + sL_1) - s^{2\alpha} M_\alpha^2 (G_4 + sC_2)] \}.$$

Расчетом обратного преобразования для времени  $t > 10$  были получены осциллограммы напряжения  $u_2(t)$  на выходе системы зажигания и осциллограммы тока  $i_2(t)$  для различных значений дробных  $\alpha$ -порядков магнитной связи между двумя катушками.

Осциллограммы напряжения  $u_1(t)$ , а также осциллограммы тока  $i_1(t)$  показаны на рис. 4.

Рис. 4. Осциллограммы тока  $i_1(t)$  напряжения  $u_1(t)$  системы зажигания до размыкания переключателя W

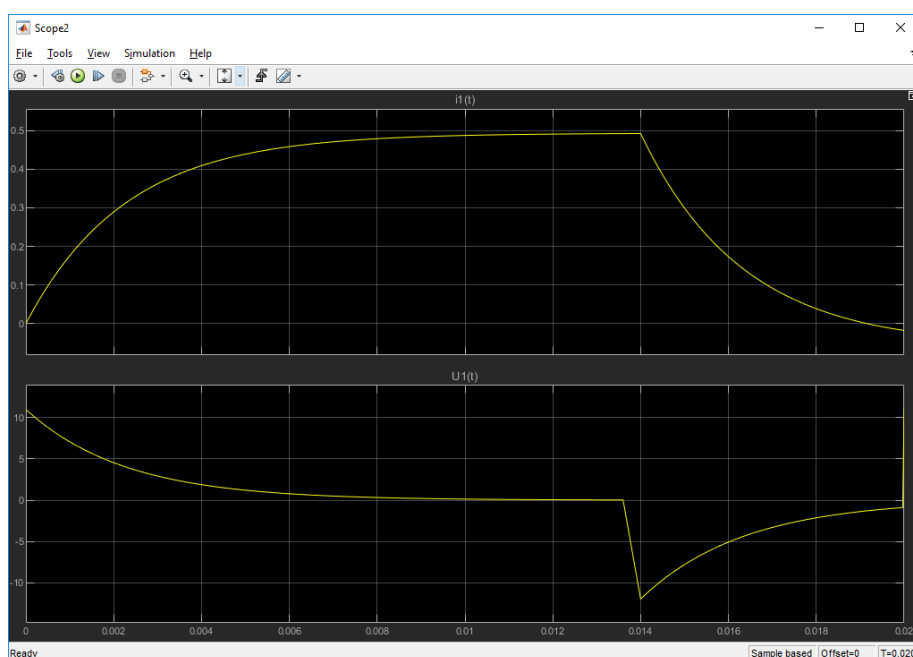
Следующим этапом анализа работы системы зажигания является стадия разряда системы – обрыв источника питания и короткое замыкание в первичной обмотке катушки зажигания. На этом этапе после размыкания переключателя W (рис. 2) через время  $t_0$  для начальных условий  $i_1(t_0)$ ,  $i_2(t_0)$  и  $u_{20}(t_0)$  были получены следующие уравнения, описывающие систему:

$$\begin{cases} I_1(s) = 0i_1(0) = i_1(t_0) \\ I_2(s)(R_2 + sL_2) + s^{\alpha-1}i_1(t_0) + U_{20}(s) \\ I_2(s) = U_{20}(s)(G_4 + sC_2) \end{cases} \quad (14)$$

Путем определения  $U_2(s)$  и  $I_2(s)$  из этой системы уравнений было получено следующее:

$$\begin{cases} U_{20}(s) = \frac{-N(s,\infty)i_1(t_0)}{sD(s,\infty)[(G_4 + sC_2) + (R_2 + sL_2) + 1]} \\ I_2(s) = \frac{-N(s,\infty)i_1(t_0)(G_4 + sC_2)}{sD(s,\infty)[(G_4 + sC_2) + (R_2 + sL_2) + 1]} \end{cases} \quad (15)$$

Формы напряжения  $u_1(t)$  и формы тока  $i_1(t)$  отражены на рис. 5.

Рис. 5. Осциллограммы тока  $i_1(t)$  напряжения  $u_1(t)$  системы зажигания после размыкания переключателя W

Объединив два рассмотренных этапа, можно получить полную картину переходных процессов, которые моделируют реальный рабочий цикл системы зажигания и показывают осциллограммы напряжения  $u_2(t)$  на выходе системы зажигания и осциллограммы тока  $i_2(t)$  при различных значениях магнитной связи между двумя обмотками катушки. Они показаны на рис. 6.

Экспериментальная проверка результатов цифрового моделирования проводилась с использованием катушки зажигания, используемой для генерирования высоких напряжений в типовых системах зажигания искровых схем внутреннего

сгорания. Испытуемый цилиндр зажигания представлял собой систему из двух индукционных катушек с открытым ферромагнитным сердечником совместимого намагничивания, электрическая схема которой представлена на рис. 1. Зарегистрированные формы волны напряжения  $u_2(t)$  и тока  $i_2(t)$  показаны на рис. 7.

Осциллограммы тока  $i_2(t)$  и осциллограммы напряжения  $u_2(t)$ , полученные в результате экспериментов, отличаются от результатов численных экспериментов, представленных на рис. 6.

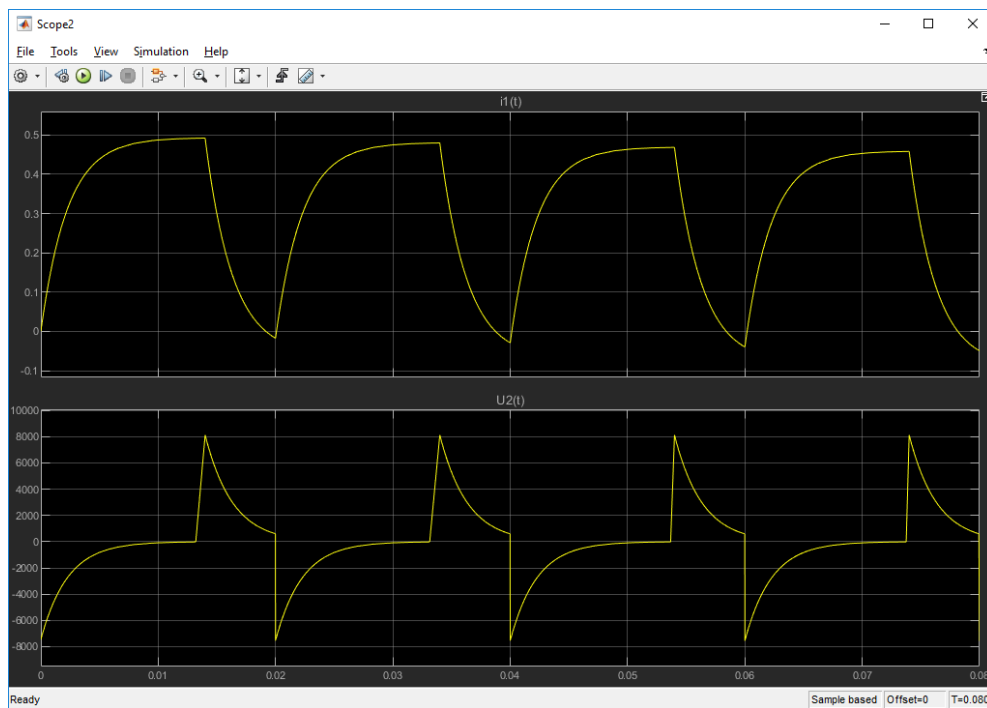


Рис. 6. Осциллограммы напряжения  $u_2(t)$  для полного цикла работы системы зажигания

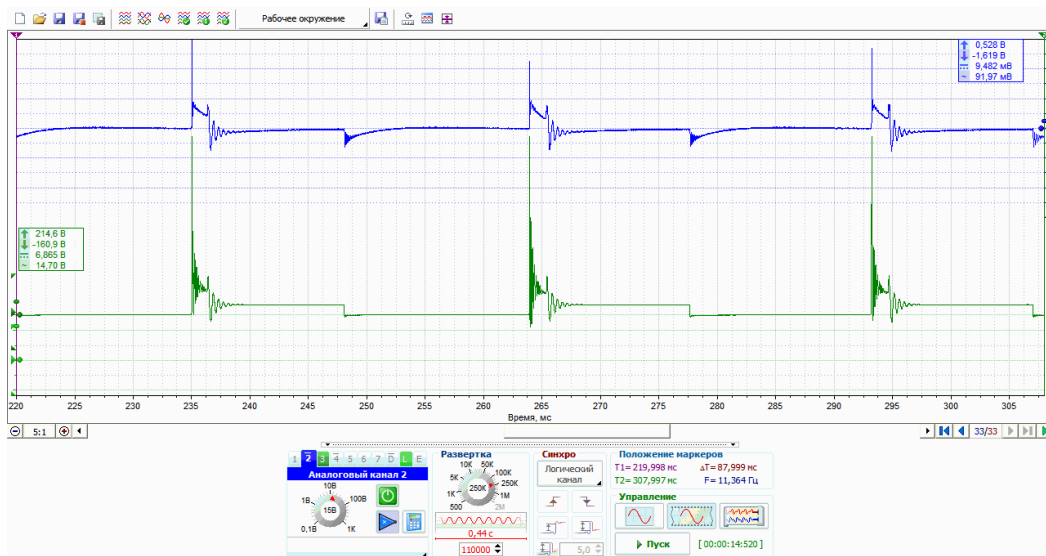


Рис. 7. Записанная осциллограмма кривой напряжения  $u_2(t)$

При сравнении полученных осциллограмм с результатами численного моделирования следует сделать вывод, что осциллограммы имеют сходную форму. Различия между реальными и смоделированными сигналами связаны с наличием микроемкостей (например, между обмотками катушки) и отсутствием модели свечи зажигания в тестируемой цепи. Завершение модели цепи с рис. 1 емкостными и резистивными компонентами, а затем выбор основных параметров системы для максимально точного воспроизведения экспериментальных сигналов станут предметом следующего исследования. Это позволит получить точное математическое описание анализируемой цепи.

**Выводы.** 1. Исследования показывают, что модели компонентов электрических цепей в виде моделей дробного порядка представляются подходящими. Часто именно выбор правильных допущений (т. е. упрощений) определяет успех подхода. Попытка устранить упрощения делает исчисление дробного порядка особенно применимым в теории цепей и может быть отличным инструментом для анализа реальных систем.

2. Использование магнитной связи дробного порядка между двумя катушками позволяет избежать импульса Дирака, присутствующего в классическом подходе. В случае магнитной связи первого порядка (классический пример) предполагается, что напряжение возникает сразу и так же сразу исчезает (рис. 3) – практически ни один механический или даже электронный переключатель не способен достичь такого состояния. Использование в этом случае магнитной связи дробного порядка позволяет учесть неидеальность катушек и переключателя. Это дает возможность аппроксимировать результаты, полученные экспериментально, на практической установке.

3. Реальные формы сигналов, представленные на рис. 7, отличаются от результатов численных экспериментов – рис. 6. Различия между реальными и смоделированными сигналами обусловлены наличием микроемкостей (например, между обмотками катушки) в тестируемой цепи. Дополнительным выводом из этого исследования является то, что форма тока на входе системы такая же, как и при классической связи, а величина степени связи сильно влияет на величину напряжения, индуцируемого во второй катушке.

4. Замещение модели цепи с рис. 1 емкостными и резистивными и индуктивными компонентами, а затем выбор параметров высоковольтных проводов как линии с распределенными параметрами для максимально точного воспроизведения экспериментальных сигналов станут предметом следующего исследования. Это позволит получить точное математическое описание анализируемой цепи.

#### Л и т е р а т у р а

1. Самко С.Г. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения / С.Г. Самко, А.А. Килбас, О.И. Маричев. – Минск: Наука и техника, 1987.

2. Мишунин В.В. Особенности цифрового моделирования систем дробно-иррационального класса / В.В. Мишунин, А.И. Дементьев, В.Г. Рубанов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2003. – № 6, Ч. III. – С. 142-144.

3. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение / А.М. Нахушев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 272 с.

4. Глушак А.В. О разрешимости задач типа Коши для абстрактных дифференциальных уравнений с дробной производной Римана-Лиувилля / А.В. Глушак, Т.А. Манаенкова // Научные ведомости БелГУ. Математика. Физика. – 2012. – № 17 (136), вып. 28. – С. 28-45.

5. Coopmans, C.; Petras, I. Analogue fractional-order generalized memristive devices. In Proceedings of the ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE, San Diego, CA, USA, 30 August-2 September 2009.

6. Fouda, M.E.; Radwan, A.G. Fractional-order memristor Response under DC and Periodic Signals. *Circuits Syst. Signal Processing* 2015, 34, 961-970.

7. Soltan, A.; Radwan, A.G.; Soliman, A.M. Fractional-order mutual inductance: Analysis and design. *Int. J. Circuit Appl.* 2016, 44, 85-97.

8. Rozowicz, S.; Zawadzki, A.; Wlodarczyk, M.; Wacha, H.; Baran, K. Properties of fractional-order magnetic coupling. *Energies* 2020, 13, 1539.

9. Zawadzki, A.; Wlodarczyk, M. CFE Method – Quality Analysis of The Approximation of Reverse Laplace Transform Of Fractional Order. *Prace Naukowe Politechniki Slaskiej*. (in Polish). *Elektryka* 2017, 3-4, 243-244.

#### Krupica O.V. MATHEMATICAL MODEL OF TRANSIENT PROCESSES IN THE IGNITION SYSTEM OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

*The article developed a computer analytical model of discharge processes in ignition systems of an oscillatory discharge, in contrast to the more well-known which accurately takes into account the nonlinear properties of semiconductor candles and allowing for the design and evaluation of potential capabilities of capacitive ignition systems with a minimum volume bench tests. A computer analytical model of bit processes in promising capacitive ignition systems of aperiodic discharge, which takes into account the nonlinear properties of semiconductor candles.*

**Key words:** mathematical model, ignition coil, car ignition system, diagnostics, voltage waveforms.

**Крупница Олег Владимирович**, старший преподаватель кафедры информационных технологий и транспорта, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», Краснодарский факультет инженерии и менеджмента.

**E-mail:** kow1976@mail.ru

**Krupitsa Oleg**, senior lecturer of the Department of Information Technologies and Transport, State Educational Institution of Higher Professional Education LPR “Luhansk state university named after Volodymyr Dahl”, Krasnodon Faculty of Engineering and Management.

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

*Статья подана 9.06.2022*

УДК 656.078.1

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ «ЗЕЛЁНОЙ» ЛОГИСТИКИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ ЦЕПЕЙ

Ленич С.В., Никишкин Ю.А.

## THE USE OF "GREEN" LOGISTICS TOOLS IN THE FORMATION OF TRANSPORT AND WAREHOUSE CHAINS

Lenich S.V., Nikishkin Yu.A.

*Статья посвящена вопросам применения инструментов «зелёной» логистики при разработке и проектировании транспортно-складских цепей. Уточнены определение «зелёной» логистики и её роль при управлении материальными потоками в системах поставки товаров от грузоотправителя до грузополучателя. Разработаны варианты транспортно-складских цепей с участием различных видов транспорта. Систематизированы основные инструменты «зелёной» логистики, применяемые в каждом звене транспортно-складских цепей, позволяющие одновременно получить как экономический, так и экологический эффект.*

**Ключевые слова:** транспортная логистика, транспортно-складская цепь, «зелёная» технология, управление цепью поставок.

**Введение.** В 2015 году Генеральной ассамблеей ООН была утверждена Резолюция «Цели устойчивого развития». Центральное место в этой резолюции занимают вопросы, связанные с экологией и снижением негативного воздействия человеческой деятельности на окружающую среду. В странах СНГ также с каждым годом всё больше внимания уделяется вопросам изменения климата, обеспечения экологической безопасности и разработке экологического законодательства, о чём свидетельствует проведение многочисленных экологических саммитов, конгрессов, форумов и конференций.

Транспортно-складские цепи (ТСЦ) как элементы логистических систем и цепей поставок играют заметную роль в изменении климата и, по оценкам [1, 2], около 15% глобальных CO<sub>2</sub> выбросов приходится на транспортный сектор и около 3% – на складские и терминальные услуги. Традиционно вопросами проектирования и функционирования транспортно-складских систем и цепей занимается логистика, а с учётом экологического аспекта – эта функция возложена на «зелёную» логистику.

Обобщая многочисленные определения термина «зелёная» логистика [3-5], мы конкретизируем эту дефиницию следующим образом. «Зелёная» логистика – это научное и практическое направление по эколого-ориентированному управлению материальными и

сопутствующими им потоками (обратными, сервисными и т.д.). Как наука «зелёная» логистика осуществляет поиск новых решений и возможностей снижения выбросов и загрязнения окружающей среды при осуществлении поставки товаров в звеньях логистических цепей (посредством разработки теоретических основ, усовершенствования математических моделей и методов эколого-ориентированного управления и т.д.). Как хозяйственная деятельность «зелёная» логистика обеспечивает эколого-ориентированное управление материальными потоками в сферах производства и обращения (энергосберегающие складские технологии, более экологичные транспортные средства и т.д.). Таким образом, цель «зелёной» логистики – оптимизация материального потока во всех звеньях логистической цепи, позволяющая получить оптимальные экономические и экологические результаты (минимальные суммарные затраты при сниженных выбросах и загрязнении окружающей среды).

**Анализ последних исследований и публикаций.** Традиционно экономическая и экологическая цели вступают в противоречие между собой при управлении и решении оптимизационных задач в цепях поставок, а особенно в транспортной логистике. Логистическая деятельность оказывает негативное воздействие на окружающую среду: потребление энергии, вредные выбросы, шум, большие площади под инфраструктуру и т.п.

В работе [5] приводятся данные, которые показывают противоречия между традиционной логистикой, целью которой является минимизация издержек, и её «зелёной» составляющей, направленной на снижение вредного воздействия на окружающую среду:

- увеличение нагрузки на окружающую среду в местах расположения транспортных узлов и терминалов, прохождения транспортных коридоров;
- увеличение интенсивности транспортных потоков и пропускной способности элементов транспортно-логистической инфраструктуры приводит

к увеличению числа и длительности пробок, объёмов выбросов в окружающую среду;

- рост производства и продаж и, как следствие, расширение системы распределения требуют увеличения занимаемых площадей, повышается расход энергоресурсов и возрастают выбросы CO<sub>2</sub>;

- экологические издержки зачастую превышают эффект от использования средств пакетирования и тары.

«Зелёная» логистика обладает значительным потенциалом для экологического контроля транспортных и складских технологий, процессов рециклинга продукции, минимизации загрязнения окружающей среды, энерго- и ресурсосбережения. Необходимо учитывать важнейшие факторы, определяющие увеличение издержек по носителям затрат (транспортная работа, общий пробег), которые являются ресурсными показателями, определяют потребление топлива и эмиссию [6]. Можно отметить ряд исследований [7-10], в которых авторы предлагают методы, в том числе многокритериальной оптимизации перевозочного процесса, позволяющие значительно снизить загрязнение окружающей среды при незначительном увеличении экономических показателей.

Однако следует отметить, что в большинстве опубликованных работ экологические улучшения рассматриваются лишь для отдельных звеньев логистических систем, что подчёркивает актуальность рассматриваемой темы. Комплексных эколого-ориентированных исследований, в том числе для ТСЦ, где последовательно рассматриваются все участки прохождения материального потока от склада отправителя до склада получателя, за исключением нескольких зарубежных научных работ [11-13], проведено не было.

**Целью** данной работы является рассмотрение ТСЦ как отдельного участка (элемента) логистических систем (цепей поставок), а также анализ и систематизация инструментов «зелёной» логистики, применяемых в каждом звене ТСЦ.

**Материалы и результаты исследования.** Современное состояние теории управления цепями поставок предполагает системный подход, который характеризуется интеграцией элементов и звеньев в единую систему и где все процессы взаимосвязаны. Поэтому ввиду тесного взаимодействия перевозочного процесса со складским комплексом в системах поставки товаров исследуются интегрированные транспортно-складские системы и сети [14, 15], а при линейном упорядочивании их звеньев – ТСЦ.

ТСЦ как элементы цепей поставок соединяют грузообразующие и грузопоглощающие звенья между собой. Количество ТСЦ зависит от глубины рассматриваемой цепи поставки и определяется жизненным циклом товара и может достигать 5 и более единиц (от мест добычи сырья и заканчивая конечным потребителем). Укрупнённый пример цепи поставки с тремя ТСЦ: Добыча сырья → ТСЦ → Изготовление комплектующих (материалов) → ТСЦ → Производство товаров → ТСЦ → Конечный потребитель.

В свою очередь ТСЦ может состоять из следующих звеньев: склады грузоотправителя и грузополучателя, транспортная инфраструктура, различные виды транспорта, осуществляющие перевозочный процесс, а также терминалы, порты, распределительные центры, логистические центры и т.п. Количество возможных сочетаний элементов ТСЦ для внешнеторговых цепей поставок довольно велико, в табл. 1 приведены варианты с участием морского транспорта.

Таблица 1

Варианты ТСЦ с участием морского транспорта

| Обо-<br>знач.<br>ТСЦ | 1                                                                                   | 2                                                                                   | 3                                                                                   | 4                                                                                   | 5                                                                                   | 6                                                                                   | 7                                                                                   | 8                                                                                    | 9                                                                                     | 10                                                                                    | 11                                                                                    | 12                                                                                    |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| а                    | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                    |                                                                                       | +                                                                                     | +                                                                                     | +                                                                                     |
| б                    | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                    | +                                                                                     |                                                                                       | +                                                                                     | +                                                                                     |
| в                    | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   |                                                                                      |                                                                                       | +                                                                                     | +                                                                                     | +                                                                                     |
| г                    | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                       | +                                                                                     | +                                                                                     |
| д                    | +                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                    |                                                                                       | +                                                                                     | +                                                                                     | +                                                                                     |
| е                    | +                                                                                   | +                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                    |                                                                                       | +                                                                                     | +                                                                                     | +                                                                                     |
| ж                    | +                                                                                   | +                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                    | +                                                                                     |                                                                                       | +                                                                                     | +                                                                                     |
| з                    | +                                                                                   | +                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                       | +                                                                                     | +                                                                                     |
| и                    | +                                                                                   | +                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   |                                                                                      |                                                                                       | +                                                                                     | +                                                                                     | +                                                                                     |
| к                    | +                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                    | +                                                                                     |                                                                                       | +                                                                                     | +                                                                                     |
| л                    | +                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                       | +                                                                                     | +                                                                                     |
| м                    | +                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   |                                                                                      |                                                                                       | +                                                                                     | +                                                                                     | +                                                                                     |
| н                    | +                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                   | +                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       | +                                                                                     |

Обозначения в табл. 1: 1, 12 – склады соответственно грузоотправителя и грузополучателя; 2, 11 – перевозки автомобильным видом транспорта и «последняя миля»; 3, 9 – терминал или логистический центр (грузовой двор железнодорожной станции); 4, 8 – перевозки железнодорожным видом транспорта; 5, 7 – морские порты; 6 – перевозка морским видом транспорта; 10 – распределительный центр.

Сочетания верхних строк *a-z* (табл. 1) представляют собой расширенные ТСЦ с участием трёх видов транспорта (морского, железнодорожного и автомобильного), они характерны для глобальных цепей поставок. Сухопутные (с двухмодальными перевозками) ТСЦ могут быть легко получены исключением из табл. 1 столбцов 5-7. В некоторых цепях поставок пунктом назначения является распределительный центр, тогда необходимо формировать ТСЦ по развозу товаров конечным потребителям.

Формирование ТСЦ с учётом эколого-ориентированного управления подразумевает внедрение инструментов и принципов «зелёной» логистики в каждом звене, показанном в табл. 1. Результаты анализа и систематизации мирового опыта, а также предложения авторов статьи сведены в табл. 2-6. В табл. 2-6 рассматриваются лишь те инструменты «зелёной» логистики, применение которых позволяет улучшить как экономические, так и экологические показатели звеньев ТСЦ.

Таблица 2

**Применение инструментов «зелёной» логистики в складах, терминалах и логистических центрах**

| Описание инструмента «зелёной» логистики                                              | Экономический и технологический эффект                                    | Экологический эффект                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Внедрение экологичной упаковки по принципу 3R                                         | Снижение массы тары, повышение производительности ПРМ и загрузки кузова   | Уменьшение отходов                                                              |
| Оптимизация запасов                                                                   | Уменьшение энергоёмкости склада                                           | Снижение вредных выбросов на ТЭЦ в связи с экономией тепловой энергии на складе |
| Отделение зон отправки или приема от других участков деятельности склада              |                                                                           |                                                                                 |
| Установка самозакрывающихся дверей в зонах, часто используемых вилочными погрузчиками |                                                                           |                                                                                 |
| Увеличение коэффициента использования площади склада                                  |                                                                           |                                                                                 |
| Применение «холодных» кровельных покрытий                                             | Поддержание температурного баланса                                        | Снижение вредных выбросов на ТЭЦ в связи с экономией электроэнергии на складе   |
| Внедрение термостатов с регулируемым временем                                         |                                                                           |                                                                                 |
| Использование теплоизоляции стен зданий                                               | Снижение энергопотребления                                                |                                                                                 |
| Внедрение полной автоматизация на складах                                             |                                                                           |                                                                                 |
| Снижение времени циклов работы ПРМ                                                    |                                                                           |                                                                                 |
| Использование современных ПРМ (ричтраки, погрузчики-комплектовщики заказов и т.д.)    | Использование «зелёной» энергии                                           | Снижение вредных выбросов на ТЭЦ в связи с экономией электроэнергии на складе   |
| Применение солнечных батарей на крыше                                                 |                                                                           |                                                                                 |
| Использование экономичных ламп освещения (SON, SuperT8, OLED)                         |                                                                           |                                                                                 |
| Внедрение складской робототехники (мобильный робот Handle)                            |                                                                           |                                                                                 |
| Применение технологии цифровых двойников на складах                                   | Избавление от человеческого фактора, повышение энергоэффективности склада |                                                                                 |
| Использование литий-ионных аккумуляторных батарей вместо кислотных                    | Увеличения циклов замены аккумуляторов, снижение времени их подзарядки    |                                                                                 |
| Оптимизация количества распределительных центров или терминалов                       | Ускорение времени доставки, уменьшение энергоёмкости объектов             | Косвенное и прямое снижение вредных выбросов                                    |
| Оптимизация месторасположения распределительного центра или терминала                 |                                                                           |                                                                                 |
| Оптимизация развозочных маршрутов доставки товаров конечным потребителям              | Ускорение времени доставки, снижение расхода топлива                      | Снижение вредных выбросов                                                       |

Таблица 3

**Применение инструментов «зелёной» логистики на автомобильном транспорте**

| Описание инструмента «зелёной» логистики                                                                        | Экономический и технологический эффект               | Экологический эффект                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Маршрутизация перевозок с учётом экологического фактора                                                         | Ускорение времени доставки, снижение расхода топлива | Снижение вредных выбросов               |
| Многокритериальная оптимизация перевозок с учётом экологического фактора                                        |                                                      |                                         |
| Уменьшение пробок на автодорогах                                                                                |                                                      |                                         |
| Внедрение мониторинга скорости движения                                                                         |                                                      |                                         |
| Внедрение эко-вождения                                                                                          |                                                      |                                         |
| Внедрение электрических транспортных средств                                                                    | Экономия на дорогостоящих топливах                   |                                         |
| Использование более экологичных видов ГСМ и топлива                                                             | Использование эффекта масштаба                       |                                         |
| Увеличение коэффициента использования грузоподъёмности транспортных средств путём более плотной загрузки кузова |                                                      |                                         |
| Укрупнение грузовых партий                                                                                      |                                                      |                                         |
| Использование крупнотоннажных грузовиков                                                                        |                                                      |                                         |
| Использование трейлеров с двухъярусным прицепом                                                                 | Снижение экологических штрафов                       |                                         |
| Применение устройств нейтрализации и очистки выбросов от токсичных компонентов                                  |                                                      |                                         |
| Использование более экономичных и менее токсичных двигателей                                                    |                                                      |                                         |
| Использование грузовиков-рефрижераторов с азотом                                                                | Повышение сохранности товаров                        | Снижение уровня шума и вредных выбросов |

Таблица 4

**Применение инструментов «зелёной» логистики на железнодорожном транспорте**

| Применение инструментов «зелёной» логистики на железнодорожном транспорте |                                                              |                           |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Описание инструмента «зелёной» логистики                                  | Экономический и технологический эффект                       | Экологический эффект      |
| Увеличение доли использования электрической тяги                          | Ввод тяжёловесных составов с высокими скоростями             | Снижение вредных выбросов |
| Увеличение коэффициента использования грузоподъёмности вагонов            | Использование эффекта масштаба                               |                           |
| Увеличение массы поездов                                                  | Увеличение пропускной и провозной способности железных дорог |                           |
| Увеличение длины станционных путей                                        |                                                              |                           |
| Использование современных фильтров для улавливания дымовых газов          | Снижение экологических штрафов                               |                           |
| Использование более экономичных и менее токсичных двигателей              |                                                              |                           |
| Использование систем управления электрической передачей тепловоза         | Оптимальное регулирование расхода топлива                    |                           |
| Использование газомоторных локомотивов                                    | Экономия на дорогостоящих топливах                           |                           |

Таблица 5

**Применение инструментов «зелёной» логистики на морском транспорте**

| Применение инструментов «зелёной» логистики на морском транспорте                                         |                                                                   |                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Описание инструмента «зелёной» логистики                                                                  | Экономический и технологический эффект                            | Экологический эффект                              |
| Оптимизация работы двигателей судов на основе мониторинга погодных и гидрографических условий             | Ускорение времени доставки, снижение расхода топлива              | Снижение вредных выбросов                         |
| Снижение содержания серы в топливе                                                                        | Снижение экологических штрафов                                    |                                                   |
| Улучшение экологических характеристик ДВС                                                                 |                                                                   |                                                   |
| Снижение вредных веществ в отработавших газах с помощью нейтрализаторов                                   |                                                                   |                                                   |
| Использование мягких контейнеров (биг-бэг) для перевозки сыпучих грузов                                   | Механизация и автоматизация ПРР, повышение производительности ПРМ | Снижение пыления и загрязнения твёрдыми частицами |
| Снижение скорости судов, проходящих вблизи побережья                                                      | Соблюдение правил перевозки нефти, сжиженного газа в танкерах     | Снижение загрязнения прибрежных вод               |
| Выбор трассы движения судов с учётом минимизации неблагоприятного воздействия на обитателей морской среды |                                                                   | Снижение загрязнения водной среды                 |
| Установка систем контроля и оборудования, предназначенного для очистки льяльных, балластных и трюмных вод | Улучшение качества очистки вод                                    |                                                   |
| Установка на судне оборудования для обработки и утилизации мусора                                         | Уменьшение ёмкостей-контейнеров для мусора, удлинение рейсов      |                                                   |
| Использование судов с газовыми двигателями                                                                | Экономия на дорогостоящих топливах                                | Снижение вредных выбросов                         |

Таблица 6

**Применение инструментов «зелёной» логистики в морских портах**

| Описание инструмента «зелёной» логистики                                              | Экономический и технологический эффект        | Экологический эффект                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Применение закрытых складов для навалочных грузов и закрытых технологий их перегрузки | Улучшение сохранности грузов, механизации ПРР | Снижение пыления и загрязнения твёрдыми частицами       |
| Контейнеризация грузов                                                                |                                               |                                                         |
| Гидромеханизация процессов перегрузки                                                 |                                               |                                                         |
| Использование более экологичных видов ГСМ и топлива для ПРМ, использующих ДВС         | Экономия на дорогостоящих топливах            | Снижение вредных выбросов                               |
| Выделение санитарно-защитных зон                                                      | Соблюдение санитарных правил для портов       | Отделение от жилых застроек источников вредных выбросов |
| Очистка сточных вод                                                                   | Снижение экологических штрафов                | Снижение загрязнения акватории порта                    |
| Использование высоковольтных систем питания «берег-судно»                             | Ускорение обработки судов                     |                                                         |

Внедрение и использование предприятиями и компаниями инструментов «зелёной» логистики (табл. 2-6) в своих ТСЦ позволит:

- снизить вредные выбросы и экологические штрафы;
- снизить общие затраты на доставку своей продукции;
- повысить эффективность цепей поставок;

- выполнять нормы экологического законодательства;
- лидировать в области устойчивого развития;
- улучшить корпоративный имидж;
- улучшить отношения с общественностью и клиентами;
- ускорить завоевание новых клиентов;
- повысить топливную эффективность.

### Выводы и направления дальнейших исследований.

1. Разработаны варианты транспортно-складских цепей с участием автомобильного, железнодорожного и морского транспорта.

2. Проанализированы и систематизированы основные инструменты «зелёной» логистики, применяемые в каждом звене приведенных ТСЦ и позволяющие одновременно получить как экономический, так и экологический эффект.

3. Проводятся теоретические исследования по многокритериальной оптимизации ТСЦ и моделированию функционирования их звеньев с учётом экономического и экологического факторов.

### Литература

1. Sarkis J., Dou Y. Green supply chain management. – New York: Routledge, 2018. – 177 p.
2. Baker P., Marchant Cl. Reducing the environmental impact of warehousing // Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics / [edited by] Alan McKinnon, Michael Browne, Anthony Whiteing, Maja Piecyk. – Third edition. London – Philadelphia – New Delhi, 2015, pp. 194-226.
3. Коблянская И.И. Структурно-функциональные основы формирования эколого-ориентированной логистики // Вестник СумГУ. Серия Экономика. – 2009. – № 1. – С. 91-98.
4. Трейман М.Г., Копанская А.А. Исследование особенностей внедрения принципов «зелёной» логистики для промышленных предприятий России // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. – 2020. – № 1. – С. 86-94.
5. Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н., Багинова В.В. Инновации в области зелёной логистики // Мир транспорта. – 2018. – № 2, том 16. – С. 196-211.
6. Баширзаде Р.Р., Пахомова А.В. Согласование целей зелёной логистики и транспорта // Инновационные достижения зелёной логистики: международный опыт и российская практика: материалы международной научно-практической конференции. XIII Южно-Российский логистический форум. 19-20 октября 2017 г. – Ростов н/Д: Издательско-полиграфический комплекс РГЭУ (РИНХ), 2017. – С. 51-54.
7. Цветков А.В. Управление цепями поставок с учетом экологического фактора: на примере использования автомобильного транспорта: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Цветков Андрей Владимирович. – Москва: Гос. ун-т упр., 2010. – 138 с.
8. Цун Ц. Формирование «зелёных» цепей поставок в условиях неопределённости (на примере направления Чунцин – Екатеринбург): дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Цун Цяо. – Екатеринбург: УГУПС, 2016. – 144 с.
9. Sun Y., Hrusovsky M., Zhang Ch., Lang M. A Time-Dependent Fuzzy Programming Approach for the Green Multimodal Routing Problem with Rail Service Capacity Uncertainty and Road Traffic Congestion // Complexity, Volume 2018, Article ID 8645793, 22 pages, <https://doi.org/10.1155/2018/8645793>.
10. Sun Y. Green and Reliable Freight Routing Problem in the Road-Rail Intermodal Transportation Network with Uncertain Parameters: A Fuzzy Goal Programming Approach // Journal of Advanced Transportation, Volume 2020, Article ID 7570686, 21 pages, <https://doi.org/10.1155/2020/7570686>.
11. Mallidis I. Quantitative Methods in Supply Chain Network Design and Green Supply Chain Management. Ph.D. Thesis, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece, 2013. – 210 p.
12. Duan X. Green Logistic Network Design: Intermodal Transportation Planning and Vehicle Routing Problems. Doctoral Dissertation, University of Louisville, Louisville, Kentucky, USA, 2016. – 150 p.
13. Yang X. Green Hub Location-Routing Problem for LTL Transport. Doctoral Dissertation, University of Brittany Loire, Nantes, France, 2018. – 172 p.
14. Маликов О.Б. Перевозки и складирование товаров в цепях поставок: монография. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 536 с.
15. Покровская О.Д. Комплексная оценка транспортно-складских систем железнодорожного транспорта: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.08 / Покровская Оксана Дмитриевна. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2018. – 377 с.

**Lenich S.V., Nikishkin Yu.A.**

### THE USE OF "GREEN" LOGISTICS TOOLS IN THE FORMATION OF TRANSPORT AND WAREHOUSE CHAINS

*The paper is devoted to the application of "green" logistics tools in the development and design of transport and warehouse chains. The definition of "green" logistics and its role in the management of material flows in the delivery systems of goods from the shipper to the consignee are clarified. Variants of transport and warehouse chains with the participation of various types of transport have been developed. The main tools of "green" logistics used in each link of the transport and warehouse chains are systematized, allowing to simultaneously obtain both economic and environmental effects.*

**Key words:** transport logistics, transport and warehouse chain, «green» technology, supply chain management.

**Ленич Сергей Васильевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** mouselenich@yandex.ru

**Lenich Sergey**, Ph.D.(Tech), docent of the «Transport Technologies» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Никишкин Юрий Анатольевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** danko\_ua@mail.ru

**Nikishkin Yuriy**, Ph.D.(Tech), docent of the «Transport Technologies» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Замота Тарас Николаевич**, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой автомобильного транспорта, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 14.04.2022

УДК 621.179

## РАСЧЕТ ПОЛЯ РАССЕЯНИЯ ЛОКАЛЬНО НАМАГНИЧЕННОГО УЧАСТКА ФЕРРОМАГНИТНОГО МЕТАЛЛА С ДВУХСЛОЙНОЙ СТРУКТУРОЙ

Ливцов Ю.В., Киреев А.Н., Безкоровайный В.С.

## CALCULATION OF THE SCATTERING FIELD OF A LOCALLY MAGNETIZED SECTION OF A FERROMAGNETIC METAL WITH A TWO-LAYER STRUCTURE

Livtsov Yu.V., Kireev A.N., Bezkorovainyi V.S.

*Статья посвящена актуальной теме по разработке нового эффективного неразрушающего метода контроля ферромагнитных деталей, имеющих двухслойную структуру. Описан расчетный способ получения значений твердости поверхностного слоя материала по остаточной индукции. Приведены результаты расчетных данных и экспериментальных исследований, полученных на магнитометрической установке. Экспериментальные исследования проводились с целью установления величины погрешности расчетных и фактических данных значения поверхностной твердости материала.*

**Ключевые слова:** феррозонд, коэрцитивная сила, электромагнит, ферромагнитный материал, магнитное поле.

**Введение.** Одним из эффективных способов обеспечения условий контактной прочности и качества поверхности деталей цилиндрической формы с целью предупреждения смятия, искажения формы поверхности, изменения расчетных зазоров между деталями, является упрочнение их поверхностного слоя.

Наиболее простым и доступным способом поверхностного упрочнения является холодное пластическое деформирование поверхности путем накатки роликами. Данный способ является эффективным и перспективным видом обработки поверхностного слоя деталей цилиндрической формы. Поэтому одним из этапов производства осей подвижного состава железных дорог является процесс поверхностного упрочнения накатыванием роликами.

В настоящее время контроль глубины и микротвердости упрочненного поверхностного слоя производится путем вырезания из тела оси продольных образцов, твердость которых определяется по методу Виккерса. Такой метод контроля является трудоемким, разрушающим, его применение ограничивается выборочным контролем, что не позволяет проводить тотальный контроль качества и оперативно корректировать режим накатки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Проблеме теоретической оценки посвящены работы ряда таких авторов, как: А.М. Шанаурин, М.Н. Михеев, Г.В. Бида., Э.С. Горкунов, П.А. Чепан., В.Е. Щербинин, А.Л. Шихин по магнитным и электромагнитным способам контроля глубины и степени упрочнения поверхностного слоя ферромагнитного материала, но нет эффективного подходящего способа контроля параметров слоя металла после упрочняющей накатки роликами. Но существует несколько способов контроля структуры поверхностного слоя сталей.

Для контроля стальных ферромагнитных изделий чаще всего используют методы, основанные на измерении таких магнитных характеристик, как коэрцитивная сила, остаточная намагниченность, магнитная проницаемость, параметры скачков Баркгаузена, а также сравнительный способ контроля толщины и свойств слоев.

Несмотря на достаточно широкую проработку в литературе указанной темы, остается ряд нерешенных задач, зачастую связанных с невозможностью применения упомянутых методов в конкретных технологических процессах обработки изделий.

**Цель исследования.** Исследование проводилось с целью повышения качества накатки цилиндрических деталей путем разработки магнитного метода, посредством которого производится измерение параметров твердости и глубины упрочненного слоя ферромагнитной детали, имеющей двухслойную структуру.

Ось подвижного состава имеет различные величины диаметра. Размеры этих величин приведены на рис. 1.



Рис. 1. Геометрические параметры оси

Намагничивающее устройство может располагаться в различных участках оси, но наиболее актуальным является контроль участка с диаметром 195 мм. Для этого участка предназначен магнитопровод намагничивающего устройства (рис. 2). В начале рассматривается вариант, когда поверхность намагничивающего участка оси представляет собой плоскость. Затем оценивается влияние кривизны поверхности контролируемой детали и вводятся необходимые поправки.

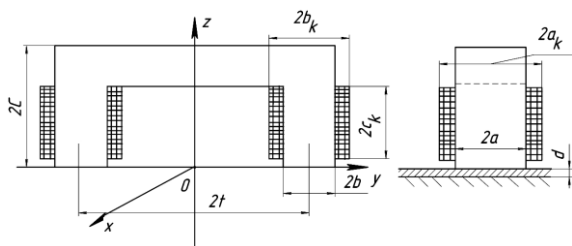


Рис. 2. Конструкция намагничивающего устройства

Геометрические параметры электромагнита приведены в табл. 1.

Таблица 1

Геометрические параметры электромагнита

| № п/п | 2t, м | 2a, м | 2b, м | S, м <sup>2</sup>    | $\sqrt{S} / 2t$ | d, м                | 2c, м |
|-------|-------|-------|-------|----------------------|-----------------|---------------------|-------|
| 1     | 0,06  | 0,02  | 0,02  | $4 \cdot 10^{-4}$    | 0,33            | $0,5 \cdot 10^{-3}$ | 0,055 |
| 2     | 0,06  | 0,025 | 0,025 | $6,25 \cdot 10^{-4}$ | 0,42            | $0,5 \cdot 10^{-3}$ | 0,055 |
| 3     | 0,08  | 0,03  | 0,03  | $9 \cdot 10^{-4}$    | 0,375           | $0,5 \cdot 10^{-3}$ | 0,055 |
| 4     | 0,05  | 0,02  | 0,03  | $6 \cdot 10^{-4}$    | 0,49            | $0,5 \cdot 10^{-3}$ | 0,055 |

В качестве материала использовалась Ст45 (специализированная сталь А<sub>1</sub>), имеющая следующие параметры:

$$\chi_n = 15; M_s = 1,3 \cdot 10^6 \text{ А/м}; M_{rs} = 0,72 \cdot 10^6 \text{ А/м}; H_{cs} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ А/м}; M_c = 0,4 \cdot 10^6 \text{ А/м}.$$

Считается, что упрочненный слой стали имеет параметры  $\chi_n = 12; M_s = 1,12 \cdot 10^6 \text{ А/м}; M_{rs} = 0,64 \cdot 10^6 \text{ А/м}; H_{cs} = 4,5 \cdot 10^3 \text{ А/м}; M_c = 0,31 \cdot 10^6 \text{ А/м}.$

Расчет вектора намагниченности в объеме ферромагнитного материала ведется для значений упрочняемого слоя  $\Delta z = 0,5 \cdot 10^{-3}; 1,0 \cdot 10^{-3}; 2 \cdot 10^{-3}; 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$

Для определения зависимости распределения магнитного поля рассеяния над намагниченным от твердости материала упрочненного слоя в зависимости  $M(H)$  изменялось значение коэрцитивной величины и намагниченности насыщения в следующих пределах:

$$H_{sc} = 3,6 \cdot 10^3; 4,0 \cdot 10^3; 4,4 \cdot 10^3; 5 \cdot 10^3; 6 \cdot 10^3 \text{ А/м}; M_s = 1,3 \cdot 10^3 \text{ А/м}; 1,25 \cdot 10^3 \text{ А/м}; 1,2 \cdot 10^3 \text{ А/м}; 1,15 \cdot 10^3 \text{ А/м}$$

Намагничивающая сила  $I_w$  составляет  $8 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$

**Расчет поля рассеяния намагниченного участка детали.** Основными параметрами упрочненного слоя металла является его толщина  $\Delta z$ , коэрцитивная сила ферромагнитного металла

$H_{cs}$  и намагниченность насыщения  $M_s$ , которая функционально связана с твердостью.

Предлагается контроль этих параметров вести путем анализа магнитного остаточного поля (поля рассеяния) намагниченного участка (отпечатка, метки). Намагничивание участка детали производится П-образным электромагнитом. Измеряется горизонтальная и вертикальная составляющая напряженности остаточного поля в определенных точках пространства над деталью.

Параметрами остаточного поля, то есть составляющие напряженности магнитного поля  $H_y, H_z$  зависит от следующих величин:

- толщина упрочненного слоя  $\Delta z$ ;
- магнитных характеристик ферромагнитного материала, которые изменяются в процессе упрочнения.

Блок-схема алгоритма расчета поля рассеяния магнитного отпечатка показана на рис. 3.

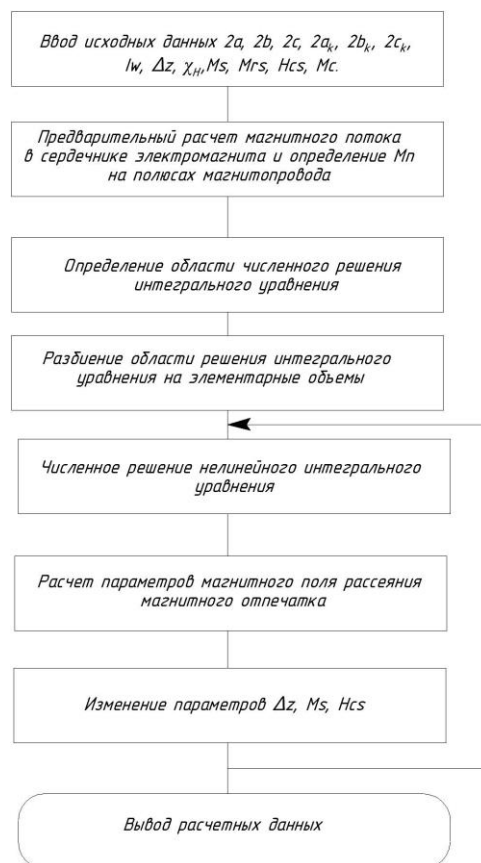


Рис. 3. Блок-схема расчета напряженности поля рассеяния магнитного отпечатка под контролируемой деталью

При аналитической аппроксимации петли гистерезиса параметрами петли являются величины  $M_s, H_{cs}$ , эти параметры в процессе упрочнения изменяются, и следовательно, изменяются составляющие напряженности магнитного поля  $H_y, H_z$ .

Характеристика остаточного поля метки также зависит от геометрических параметров намагничивающего устройства: П-образного электромагнита, однако, эта зависимость постоянна, а оптимизация размеров электромагнита для локального намагничивания достаточно полно изложена в [1].

Интегральное уравнение, как уже было сказано, сводится к системе алгебраических уравнений. Область занятая ферромагнитным материалом разбивается по трем осям пространства на  $N$  элементарных объектов (ЭО), представляющих собой параллелепипед.

Геометрические размеры ЭО определяются эмпирически и находятся из следующих соображений:

- слишком мелкая равномерная разбивка не является рациональной, так как требует большого машинного времени на расчет поля для каждого ЭО. Увеличение числа ЭО в  $P$  раз увеличивает время расчета минимум в  $P^2$  раз.

- во-вторых, чрезмерно мелкая разбивка может вызвать необходимость итерационного процесса;

- с другой стороны, уменьшение размеров ЭО по трем осям позволяет получить более точные результаты расчета и уменьшает разность между намагниченностью соседних ЭО, что уменьшает скачкообразные выбросы напряженности поля рассеяния на границах ЭО;

- применение системной разбивки с уменьшением ЭО в области расположения полюсов электромагнита является наиболее оптимальным методом для определения параметров напряженности поля рассеяния намагниченного участка детали.

Смещение характеристики  $H(y)$  при увеличении  $H_{cs}$  и  $\Delta z$  обозначим величиной  $\Delta y$ .

При разбиении упрочненного слоя детали на ЭО размеры последних не симметричны и зависят от толщины упрочненного слоя.

Число ЭО составляет 624.

Расчет магнитного поля рассеяния производится в трех точках пространства над поверхностью контролируемой детали:  $x = 0, z = h$ ;  $x = 0, y = b_2, z = h$ .

Однако для определения влияния толщины и коэрцитивной силы упрочненного слоя металла на топографию поля рассеяния определялись составляющие вектора напряженности поля рассеяния над поверхностью контролируемой детали. Величина  $\Delta y$  имеет такой же характер изменения, как и  $H_m$ . Из графиков, приведенных на рис. 4, видно, что  $\Delta y = \Delta H \cdot \operatorname{tg} \alpha$ .

Можно считать, что  $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{const}$  для данной магнитной системы измерительного преобразователя [2]. При этом

$$\Delta y = \alpha_{11} \Delta z + \alpha_{12} H_{cs} \quad (1)$$

$$H_m = \alpha_{21} \Delta z + \alpha_{22} H_{cs},$$

где  $\alpha_{11}; \alpha_{12}; \alpha_{21}; \alpha_{22}$  – коэффициенты аппроксимирующего полинома.

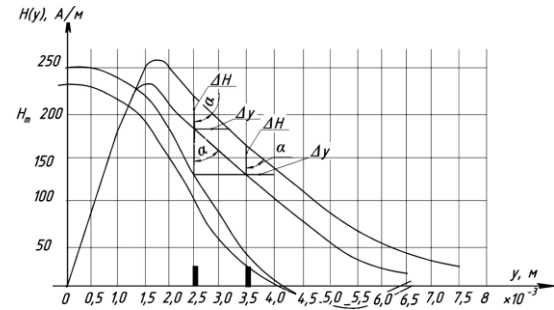


Рис. 4. Определение значения  $\Delta y$

Определены аппроксимирующие полиномы, которые имеют вид:

$$\begin{aligned} H_m(x_1, x_2) &= 49,2 + 71x_1 + 38x_2 + \\ &+ 14,8x_1 \cdot x_2 + 16,1x_1^2 + 8,4x_2^2 \\ H_z(x_1, x_2) &= 61,4 + 68x_1 + 47,5x_2 + \\ &+ 9,5x_1 \cdot x_2 + 12,1x_1^2 + 4,9x_2^2, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $x_1; x_2$  – переменная от сигнала феррозондов.

Для нахождения данных о магнитных характеристиках поверхностного слоя, упрочненного слоя, толщина которого составляет до 5 мм, применялась магнитометрическая аппаратура. Магнитные характеристики опытных образцов ферромагнитного материала оси, имеющие геометрическую форму пленки с размерами  $40 \times 5 \times (0,05-0,3)$  мм, не представляется возможным использовать в замкнутой магнитной цепи, следовательно проведение измерений будет проходить при размещении разомкнутых образцов в магнитном поле соленоида.

Структурная схема экспериментальной установки представлена на рис. 5.

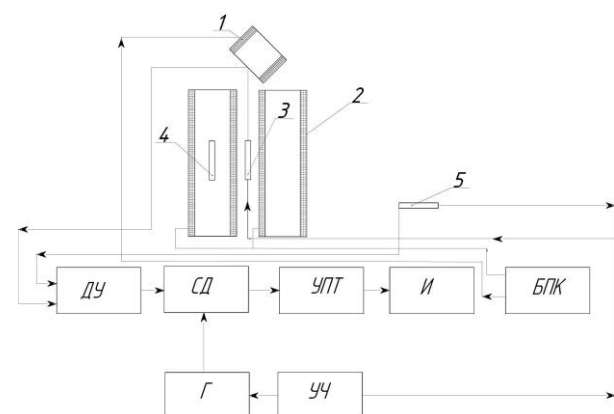


Рис. 5. Блок-схема установки измерения магнитных характеристик упрочненного металла образца:

1 – корректирующая катушка; 2 – катушка; 3 – измерительный феррозонд; 4 – образец; 5 – компенсационный феррозонд; УПТ – усилитель постоянного тока; СД – синхронный детектор; Г – генератор; И – индикатор; УЧ – удвоитель частоты; БПК – блок питания катушек, ДУ – дифференциальный усилитель

Обработка данных эксперимента велась по методике [3]. Погрешность эксперимента 9-12% для различных величин, которые характеризуют петлю гистерезиса магнитного материала.

**Выводы.** 1. Проведенные исследования подтвердили возможность использования магнитного метода контроля для определения значений твердости поверхностного слоя детали.

2. Разработанная математическая модель поля вектора намагниченности в двухслойной нелинейной ферромагнитной среде, созданного П-образным электромагнитом, позволила произвести расчет магнитного поля рассеяния намагниченного участка детали. Погрешность измерения напряженности поля составила 2,5%; расхождение магнитных характеристик и твердости – 9%

#### Л и т е р а т у р а

12. Тарасенко О.В. Совершенствование методов расчета аппаратов намагничивания локальных участков ферромагнитных деталей: дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук / О.В. Тарасенко. – Кременчуг, 2008. – 178 с.

13. Ливцов Ю.В. Метод контроля качества упрочнения поверхности ферромагнитных деталей путем накатки роликами / И.А. Березкина, Ю.В. Креселюк // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении. – Луганск. – 2016. – № 2 (17). – С. 157-165.

14. Гордон В.И. Оценка возможности применения метода ступенчатого намагничивания для точного измерения статических магнитных параметров ферромагнитных материалов. / В.И. Гордон, В.Г. Антонов // Метрология, 1992. – № 6. – С. 48-55.

**Livtsov YU.V., Kireev A.N., Bezkorovajnyj V.S.**  
**CALCULATION OF THE SCATTERING FIELD OF A**  
**LOCALLY MAGNETIZED SECTION OF A**  
**FERROMAGNETIC METAL WITH A TWO-LAYER**  
**STRUCTURE**

*The article is devoted to an urgent topic on the development of a new effective non-destructive method for the control of ferromagnetic parts having a two-layer structure. A computational method for obtaining the hardness values of the surface layer of the material by residual induction is described. The results of calculated data and experimental studies obtained on a magnetometric installation are presented. Experimental studies were carried out in order to establish the magnitude of the error of the calculated and actual data of the value of the surface hardness of the material.*

**Key words:** *ferrosonde, coercive force, electromagnet, ferromagnetic material, magnetic field.*

**Ливцов Юрий Владимирович**, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** Liwtsoff@yandex.com

**Livtsov Yuri**, senior lecturer of the «Railway transport» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Киреев Андрей Николаевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** lifter\_23@mail.ru

**Kireev Andrey**, Dr. Sci. (Eng.), professor of the «Railway transport» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Безкоровайный Владимир Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электромеханика», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** volk207@yandex.ru

**Bezkorovaiynyi Vladimir**, cand. of tech. sciences, associate professor of the Department of "Electromechanics" Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

*Статья подана 23.03.2022*

УДК 656.072

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ОЖИДАНИЯ ПАССАЖИРА НА ОСТАНОВОЧНОМ ПУНКТЕ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Лучко М.И.

### RESEARCH OF THE INFLUENCE OF FACTORS ON THE DURATION OF A PASSENGER'S WAITING AT A STOP POINT BY THE METHOD OF SIMULATION MODELING

Luchko M.I.

*Представлены зависимости и результаты исследований влияния факторов на длительность ожидания пассажира на остановочном пункте методом имитационного моделирования*

**Ключевые слова:** длительность ожидания пассажира, имитационное моделирование, маршрутное транспортное средство (МТС), остановочный пункт (ОП), коэффициент загрузки остановочного пункта, факторный анализ

**Введение.** Качество перевозок пассажиров в современных условиях, помимо комфорта и безопасности поездок, характеризуется временными характеристиками перемещения пассажира, которые включают как время передвижения, так и время ожидания маршрутного транспортного средства на остановке. В настоящее время понятно, что простое увеличение парка машин у пассажирских перевозочных компаний не приводит к улучшению качества перевозки пассажиров на уже существующих маршрутах. Отнюдь, необоснованное увеличение пассажирского транспорта на маршрутах городской системы пассажирского транспорта общего пользования повышает нагрузку на улично-дорожную сеть города, создает больше помех и задержек (зачастую МТС одного маршрута идут группами или парами с неравномерным интервалом), что также повышает потенциал возникновения ДТП [1].

**Постановка проблемы.** Длительность ожидания пассажиром посадки в маршрутное транспортное средство на остановочном пункте зависит в общем случае от интервала движения ( $T_{инт}$ ). Когда пассажир подходит к остановке в момент подхода автобуса, то  $T_{ож} = 0$ . Когда пассажир подходит в момент отхода автобуса, то  $T_{ож} = T_{инт}$ . При условии регулярного движения и отсутствия отказов пассажирам в посадке,  $T_{ож} = 0,5T_{инт}$ . Дополнительное время ожидания возникает в результате действия ряда управляемых и неуправляемых случайных факторов.

Существующие аналитические модели позволяют приближенно учитывать случайный характер процесса накопления пассажиров на остановке, регулярность движения маршрутных ТС [2] и не учитывают случайный характер распределения свободных мест для пассажиров в ТС, которые прибывают на остановочный пункт.

**Цель исследования.** Разработка зависимостей для получения актуальных данных о пассажирских потоках на остановочных пунктах и модели определения показателей процесса перевозок пассажиров, а именно времени ожидания пассажира на остановочном пункте с учетом влияющих факторов, для их последующего анализа и выработки решения по управлению системой городского пассажирского транспорта общего пользования.

**Материалы и результаты исследования.** Величину длительности ожидания пассажиром посадки на остановке предлагается оценивать по следующей аналитической зависимости

$$T_{ож} = \frac{\Pi}{2} (1 + k_{доп}), \quad (1)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент, который учитывает дополнительные расходы времени пассажиром на ОП через нерегулярность движения МТС и отказа пассажирам в посадке.

Введем такие обозначения:  $\lambda$  – интенсивность поступления пассажиров на ОП;  $C_{\lambda}$  – коэффициент вариации интенсивности поступления пассажиров на ОП;  $\Pi$  – математическое ожидание интервала прибытия МТС на ОП;  $C_{\Pi}$  – коэффициент вариации случайной величины  $\Pi$ ;  $A$  – математическое ожидание количества свободных пассажиромест в МТС, которые прибывают на ОП;  $C_A$  – коэффициент вариации случайной величины  $A$ .

Тогда в принятых обозначениях коэффициент загрузки ОП может быть определен по формуле:

$$\rho = \frac{\lambda \cdot \Pi}{A} \quad (2)$$

Для исследования влияния неравномерности входного потока свободных пассажиромест в салонах прибывающих МТС на длительность ожидания пассажирами посадки, принимаем предположение, что интервал прибытия МТС на ОП является регулярным, то есть  $C_{\Pi} = 0$ , а процесс накопления пассажиров на ОП является равномерным  $C_{\lambda} = 0$ . При таких предположениях средняя длительность ожидания пассажиром посадки на ОП полностью определяется только коэффициентом загрузки остановки  $\rho$  и коэффициентом вариации входного потока свободных пассажиромест  $C_A$ . Математическое ожидание количества свободных пассажиромест на основании (2) может быть вычислено по формуле:

$$A = \frac{\lambda \cdot \Pi}{\rho} \quad (3)$$

Поскольку закон распределения случайной величины  $f(A)$  в общем случае неизвестен, и чтобы ее задать будем использовать только первые два момента (математическое ожидание и коэффициент вариации). Самым простым было бы считать закон распределения  $f(A)$  нормальным с соответствующими исходными параметрами. Однако, при компьютерном моделировании случайной величины, распределенной по нормальному закону, полностью вероятное появление в результате моделирования ее отрицательных значений (особенно при больших значениях  $C_A$ ). Для того, чтобы избежать такой ситуации, целесообразно моделировать случайную величину  $A$  по закону гамма-распределения, плотность вероятности которого имеет вид

$$f(x) = \frac{\beta^{-\alpha}}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad (4)$$

где  $\Gamma(\alpha)$  — гамма-функция Эйлера;

$\alpha$  — параметр формы распределения гаммы;

$\beta$  — параметр масштаба распределения гаммы.

Закон гамма-распределения определен лишь для неотъемлемых значений случайной величины и при больших значениях параметра формы  $\alpha$  приближается к нормальному закону распределения случайных величин. Соответствующие параметры формы  $\alpha$  и масштаба гамма-распределения  $\beta$  связаны с математическим ожиданием  $M(x)$  и коэффициентом вариации  $v(x)$  случайной величины, которая распределена по данному закону, следующими соотношениями:

$$\begin{cases} M(x) = \alpha\beta; \\ v(x) = \frac{1}{\alpha}. \end{cases} \quad (5)$$

Принимая для нашего случая математическое

ожидание  $M(x) \equiv A$  и коэффициент вариации  $v(x) \equiv C_A$ , имеем следующую систему уравнений для определения искоемых параметров  $\alpha$  и  $\beta$  закона гамма-распределения:

$$\begin{cases} \alpha\beta = A; \\ \frac{1}{\sqrt{\alpha}} = C_A. \end{cases} \quad (6)$$

После соответствующих преобразований, и учитывая (2) получаем

$$\begin{cases} \alpha = \frac{1}{C_A^2}; \\ \beta = \frac{\lambda \cdot \Pi \cdot C_A^2}{\rho}. \end{cases} \quad (7)$$

Таким образом, принимая некоторые значения  $C_A$  и  $\rho$ , при расчете можно определить параметры формы и масштаба закона гамма-распределения, а затем на их основании смоделировать случайную величину, которая будет иметь математическое ожидание  $A$ .

Для исследования влияния регулярности движения маршрутных ТС, которые прибывают на ОП, на длительность ожидания пассажирами посадки, принимаем предположение, что количество свободных пассажиромест в прибывающих МТС является постоянной детерминированной величиной ( $C_A=0$ ) и процесс накопления пассажиров на ОП во времени является равномерным ( $C_{\lambda}=0$ ). При таких предположениях средняя длительность ожидания пассажиром посадки на ОП полностью определяется коэффициентом загрузки остановки  $\rho$  и коэффициентом вариации интервала движения прибывающих к остановке МТС  $C_{\Pi}$ . Из формулы (2) определяем математическое ожидание интервала движения

$$\Pi = \frac{\rho \cdot A}{\lambda} \quad (8)$$

Параметры формы и масштаба гамма-распределения для моделирования случайной величины  $\Pi$  (при  $M(x) \equiv \Pi$  и  $v(x) \equiv C_{\Pi}$ ) получим, составив систему уравнений, подобную (6). Откуда получим расчетные формулы для вычисления  $\alpha$  и  $\beta$

$$\begin{cases} \alpha = \frac{1}{C_{\Pi}^2}; \\ \beta = \frac{\rho \cdot A \cdot C_{\Pi}^2}{\lambda}. \end{cases} \quad (9)$$

Для исследования влияния неравномерности накопления пассажиров на остановках принимаем детерминированными величины интервала движения МТС ( $C_{\Pi} = 0$ ) и количества свободных пассажиромест в каждом из них ( $C_A = 0$ ). Таким образом, средняя длительность ожидания

пассажирам посадки на ОП полностью определяется коэффициентом загрузки ОП  $\rho$  и коэффициентом вариации интервала времени между поступлением пассажиров на ОП  $C_\lambda$ . Параметры формы и масштаба гамма-распределения для моделирования случайной величины  $\lambda$  (при  $M(x) = 1/\lambda$  и  $v = C_\lambda$ ) определяются по следующим формулам:

$$\begin{cases} \alpha = \frac{1}{C_\lambda^2}; \\ \beta = \frac{\Pi \cdot C_\lambda^2}{\rho \cdot A}. \end{cases} \quad (10)$$

Предлагаемый подход позволяет определить пределы влияния отдельных факторов на возникновение ситуаций отказов пассажирам в посадке на остановочном пункте из-за недостатка свободных пассажирских мест и количественно оценить увеличение длительности ожидания пассажира на остановочном пункте в условиях действия одного из случайных факторов (регулярность движения, неравномерность поступления пассажиров на ОП, параметры потока свободных пассажиромест в транспорте) при детерминированных значениях других факторов.

Ввиду сложности аналитических моделей, их громоздкости и плохой приспособленности к практическому применению с увеличением количества факторов, которые должны быть учтены в модели, целесообразно применить для исследования характера и определения величины влияния случайных факторов на длительность ожидания пассажиром посадки в городское маршрутное транспортное средство на остановочном пункте метод имитационного моделирования [3]. Рассмотрим задачу разработки компьютерной имитационной модели остановочного пункта (ОП) как системы массового обслуживания и проведения экспериментов на ней.

Структурная схема компьютерной имитационной модели ОП, приведена на рис. 1. Модель состоит из пяти основных блоков:

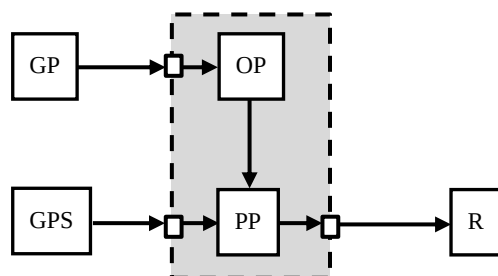


Рис. 1. Структурная схема имитационной модели ОП

а) блок GP (генератор пассажиров, в перспективе – модуль отслеживания пассажиров на остановочном пункте [4]) – моделирует поступление пассажиров на ОП с заданной интенсивностью  $\lambda$  и коэффициентом вариации интервала времени между последовательными поступлениями  $C_\lambda$ ;

б) блок GPS (генератор подвижного состава, в перспективе – модуль отслеживания ПС на маршруте [5]) – моделирует прибытие МТС на ОП с заданным математическим ожиданием интервала движения  $\Pi$ , коэффициентом вариации интервала движения  $C_\Pi$ , математическим ожиданием количества свободных пассажиромест  $A$  и коэффициентом вариации количества свободных пассажиромест в салоне  $C_A$ ;

в) блок OP – имитирует очередь пассажиров, которые ожидают посадки в МТС. При моделировании реализует дисциплину очереди Random, то есть, пассажиры из очереди для посадки выбираются в случайном порядке;

г) блок PP – имитирует процесс посадки пассажиров в салон МТС. При реализации этого блока выходим из предположений, что посадка пассажиров осуществляется или мгновенно, или ее длительность линейно зависит от количества пассажиров;

д) блок R – формирует результаты расчета. Результатом расчета является моделируемое среднее значение длительности ожидания пассажиром посадки  $T_{ож}$  и доверительные интервалы для его оценки.

Коэффициент  $k_{доп}$  в (1) можно определить на основании полученных результатов проведения экспериментов на компьютерной имитационной модели ОП по формуле

$$k_{доп} = \frac{2 T_{ож}}{\Pi} - 1 \quad (11)$$

Количество реализаций имитационного моделирования при заданных значениях исходных параметрах избиралась такой, чтобы относительная погрешность оценки среднего времени ожидания пассажира не превышала 5%. Диапазон изменения коэффициента загрузки ОП равнялся  $\rho \in (0,1)$ , диапазон изменения коэффициентов вариации случайных величин, которые входят в модель  $C_\lambda \in (0,1)$ . Результаты моделирования при постоянных значениях  $\Pi = 5$  мин и количества свободных пассажиромест в прибывающем транспорте  $A = 20$ , а  $\lambda = 2$  пасс/мин представленные на рисунке 2 в виде графических зависимостей  $k_{доп} = f(C_A, \rho)$ .

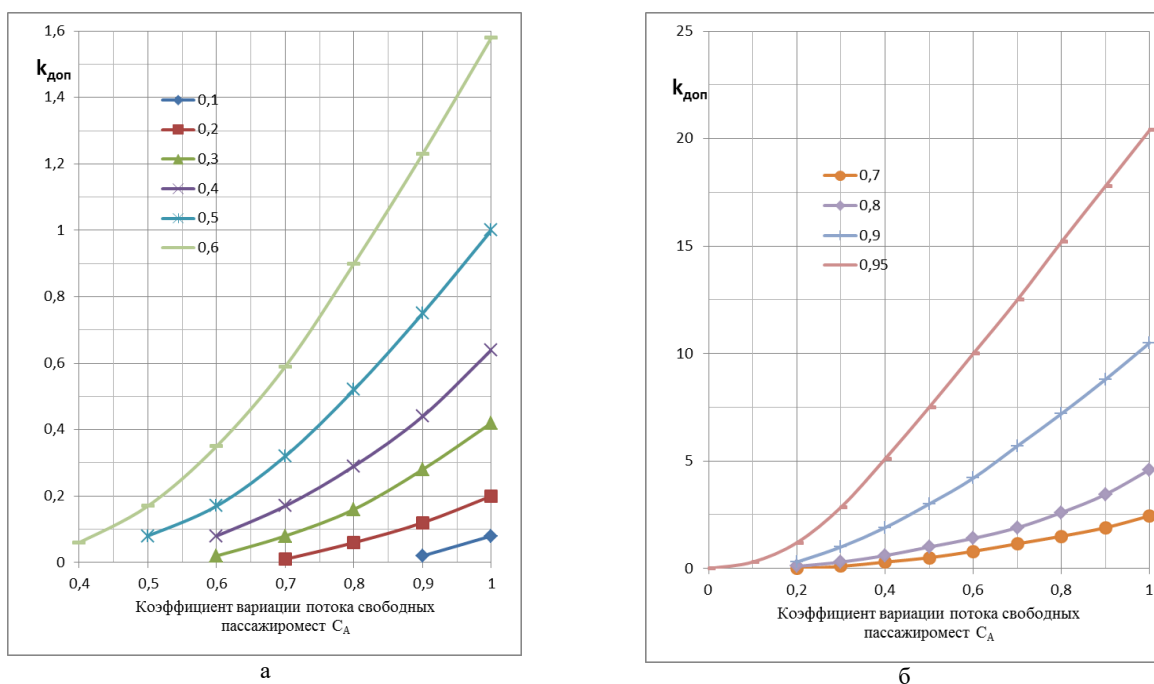


Рис. 2. Зависимости  $k_{\text{доп}} = f(C_A, \rho)$  при  $\rho = 0,1 \dots 0,6$  (а) и  $\rho = 0,7 \dots 0,95$  (б)

Здесь и дальше значение коэффициента загрузки остановки  $\rho$  дано и нанесено на соответствующих кривых графиков.

Заметим, что поскольку интервал движения  $\Pi$  при моделировании с изменяемыми значениями  $\rho$  и  $C_\Pi$  не является постоянной величиной, перед подстановкой в формуле (11) он предварительно

рассчитывается по формуле (1) при известных значениях  $\rho$ ,  $A$  и  $\lambda$ .

Результаты имитационного моделирования функционирования ОП при постоянных значениях интервала движения МТС  $\Pi = 10$  мин и количества свободных пассажиромест в прибывающих МТС  $A = 40$  в виде графических зависимостей  $k_{\text{доп}} = f(C_\lambda, \rho)$  представлены на рис. 3.

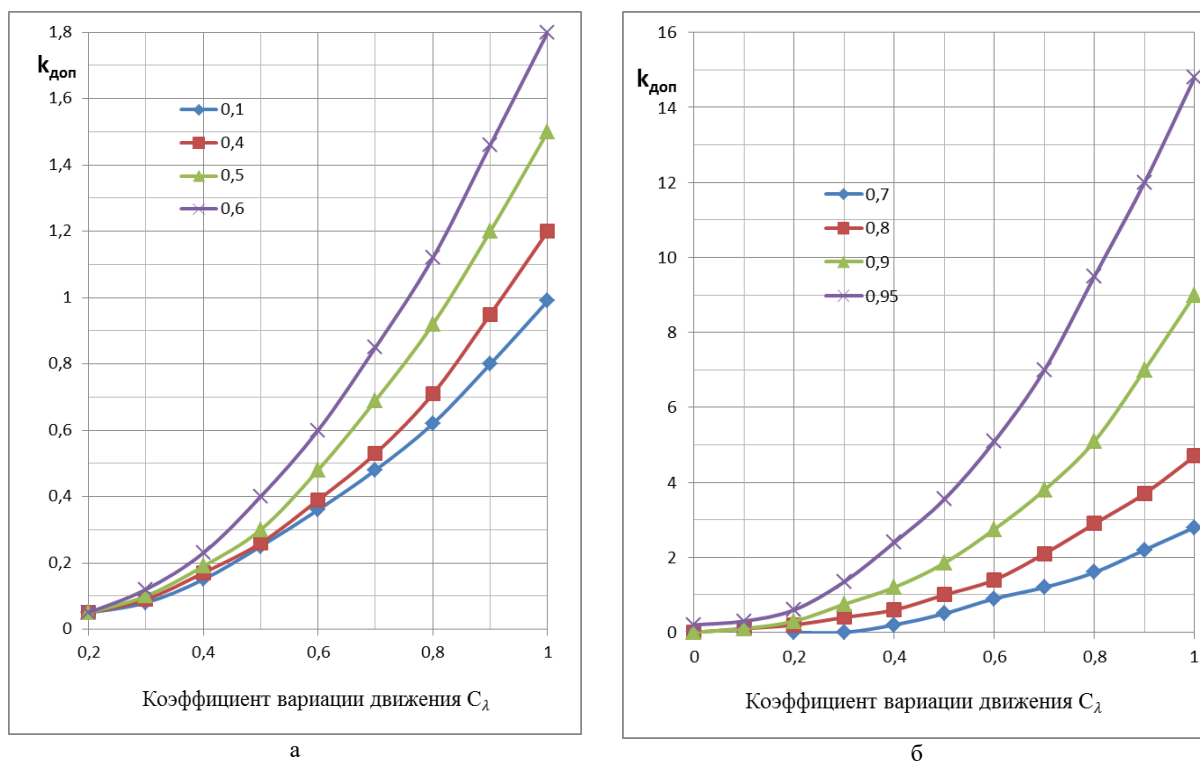


Рис. 3. Зависимости  $k_{\text{доп}} = f(C_\lambda, \rho)$  при  $\rho = 0,1 \dots 0,6$  (а) и  $\rho = 0,7 \dots 0,95$  (б)

Анализируя зависимости, полученные в результате имитационного моделирования и представленные на графике (рис. 3), можно сделать вывод, что особенности процесса накопления пассажиров на ОП существенно влияют на длительность ожидания пассажиров только при больших значениях коэффициента загрузки  $\rho \rightarrow 1$  системы обслуживания.

**Выводы.** Предлагаемый подход позволяет определить пределы влияния отдельных факторов на возникновение ситуаций отказов пассажирам в посадке на остановочном пункте из-за недостатка свободных пассажиромест и количественно оценить увеличение длительности ожидания пассажира на остановочном пункте в условиях действия одного из случайных факторов (регулярность движения, неравномерность поступления пассажиров на остановочный пункт, параметры потока свободных пассажиромест в маршрутном транспортном средстве) при детерминированных значениях других факторов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Лучко, М. И. Проблемы системы городского пассажирского транспорта общего пользования и пути решения / В.Д. Рябичев, Г.И. Нечаев, И.А. Тарарычкин, М.И. Лучко // ВЕСТНИК Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2021 – № 12 (54). – С. 9-14.
2. Лучко, М. И. Модель системы мониторинга пассажирского транспорта и пассажиров / М.И. Лучко, М.Г. Дубинкин // ВЕСТНИК Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2021 – № 11 (53). – С. 74-80.
3. Карпов, Ю. Г. Имитационное моделирование систем: введение в моделирование с AnyLogic 5 / Юрий Карпов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 390 с.
4. Лучко, М.И. Закономерности формирования пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта на основании мониторинга

потока пассажиров перевозимых транспортным средством // ВЕСТНИК Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2022 – № 4 (58). – С. 208-212.

5. Лучко, М.И. Принцип работы системы учета пассажиров для автоматизации мониторинга работы городского пассажирского транспорта общего пользования / М.И. Лучко // Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса: материалы VIII-ой Международной научно-практической конференции, 25 мая 2022 года. Донецк: ДАТ, 2022. – С. 33-37.

**Luchko M.I.**

#### RESEARCH OF THE INFLUENCE OF FACTORS ON THE DURATION OF A PASSENGER'S WAITING AT A STOP POINT BY THE METHOD OF SIMULATION MODELING

*The dependences and results of researches of the influence of factors on the duration of the passenger's waiting at the stopping point are presented using the simulation method.*

**Key words:** passenger waiting time, simulation modeling, route vehicle, stopping point, stopping point loading factor, factorial analysis

**Лучко Максим Иванович**, к.т.н., доцент кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** maxl\_dal@mail.ru

**Luchko Maxim**, C.S. Eng., docent of the «Transport Technologies» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

*Статья подана 10.05.2022*

УДК 629.4:537.622

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТУРНОЙ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА КОЛЕСА И РЕЛЬСА ПО ИЗМЕНЕНИЮ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛА ГОЛОВКИ РЕЛЬСА В ОБЛАСТИ ИХ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Малахов О.В., Сильянов В.В.

### EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF DYNAMIC DETERMINATION OF THE CONTOUR AREA OF THE WHEEL AND RAIL CONTACT BY CHANGING THE MAGNETIC PARAMETERS OF THE RAIL HEAD MATERIAL IN THE AREA OF THEIR FORCE INTERACTION

Malakhov O.V., Silyanov V.V.

*Статья посвящена актуальной теме экспериментального подтверждения гипотезы о наличии существенной связи между локальной нагрузкой, вызванной прокатыванием колеса по поверхности катания рельса, и изменением топологии магнитного поля вблизи поверхности ферромагнитного тела – головки рельса, вызванного изменением остаточной намагниченности металла в зоне приложения локальной нагрузки, с помощью однофакторного дисперсионного анализа результатов эксперимента.*

**Ключевые слова:** Железнодорожный транспорт, сцепные свойства колес локомотива, контурная площадь контакта, топология магнитного поля.

**Введение.** Железные дороги, являясь одной из важнейших составных частей материально-технической базы нашей экономики, во многом определяют эффективность работы всех отраслей хозяйства страны. Одной из важнейших задач, стоящих перед железнодорожным транспортом, является дальнейшее повышение провозной и пропускной способности железных дорог и несомненное выполнение плана перевозок важнейших народнохозяйственных грузов.

Сцепные возможности колес локомотива с рельсами имеют существенное значение при определении тяговых и тормозных характеристик подвижного состава железных дорог. Основной закон локомотивной тяги – для обеспечения устойчивости движения и надежности тяги поездов окружные усилия на ободах движущих колес локомотива, создаваемые ТЭД, не должны превосходить силу сцепления колес с рельсами.

$$F_{K \max} \leq 1000P_{\text{сч}} \cdot \psi_0,$$

где  $P_{\text{сч}}$  – сцепная масса локомотива;

$\psi_0$  – коэффициент сцепления колес локомотива с рельсами.

Увеличение сцепной массы локомотива становится проблематичным вследствие высокого выхода из строя рельсов по контактно-усталостным дефектам [1].

Согласно молекулярно-механическим представлениям о внешнем трении [2], получившим наибольшее распространение и признание в настоящее время, характеристики трения взаимодействующих твердых тел обусловлены напряженным состоянием области контакта и физико-химическими свойствами контактирующих поверхностей.

Обеспечение оптимальных давлений в контакте колеса с рельсом является ответственной конструкторской мерой, от которой зависят потенциальные сцепные и противоизносные качества взаимодействующих поверхностей [3,4].

**Постановка задачи.** Необходимо оценить возможность динамического определения контурной площади контакта колеса и рельса по изменению магнитных параметров материала головки рельса в области их силового взаимодействия.

**Целью данного исследования** является экспериментальное подтверждение теоретических выводов о наличии изменения топологии магнитного поля вблизи поверхности ферромагнитного тела – головки рельса, вызванного изменением остаточной намагниченности металла в зоне приложения локальной нагрузки.

Для подтверждения либо опровержения гипотезы о наличии существенной связи между локальной нагрузкой, вызванной прокатыванием колеса по поверхности катания рельса, и изменением топологии магнитного поля вблизи поверхности ферромагнитного тела – головки рельса, вызванного изменением остаточной намагниченности металла в зоне приложения

локальной нагрузки, производим однофакторный дисперсионный анализ результатов следующего экспериментального исследования.

Факторный признак – наличие либо отсутствие локальной нагрузки на поверхность катания рельса.

Результативный признак – величина остаточной намагниченности металла.

**Изложение основных материалов.** Воздействие на ферромагнетик больших растягивающих или сжимающих напряжений  $\sigma_0$  может существенно изменить значения таких магнитных параметров, как коэрцитивная сила  $H_c$ , начальная  $\chi_\alpha$  и обратимая  $\chi_\Gamma$  магнитные восприимчивости, магнитоупругий прирост намагниченности  $\Delta M_\sigma(H_i, \sigma)$ , остаточная намагниченность  $M_\Gamma$  [5,6].

План проведения эксперимента. Схема проведения эксперимента по определению изменения топологии магнитного поля вблизи поверхности катания рельса под воздействием локальной нагрузки, вызванной прокатыванием колеса подвижного состава, представлена на рис. 1.

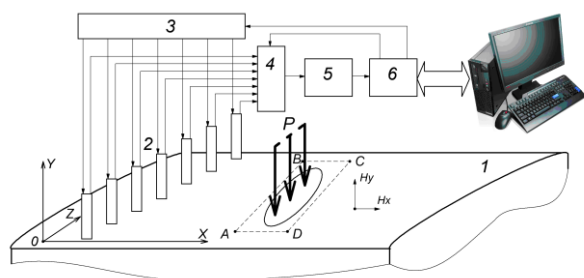


Рис. 1. Схема проведения эксперимента

В качестве объекта исследования использовался отрезок рельса 1 типа Р65 длиной 0,25 м. Над поверхностью катания рельса перемещалась линейка из семи феррозондовых датчиков 2, расположенных перпендикулярно направлению движения вдоль оси координат ОХ. Ориентация датчиков выбрана таким образом, чтобы направление максимальной чувствительности совпадало с вертикальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_y$  [4]. Расстояние между геометрическими осями сердечников датчиков 10 мм, зазор между поверхностью катания рельса и нижней кромкой сердечника датчиков 15 мм. Замеры производились через каждые 10 мм перемещения измерительной линейки 2 над поверхностью катания рельса 1 в направлении оси ОХ.

Питание обмоток возбуждения феррозондовых датчиков осуществляется блоком 3 поочередно. Очередность активации датчиков задается микроконтроллером 6. Синхронно с активацией обмоток возбуждения датчиков сигнал с выходов измерительных обмоток феррозондовых датчиков через аналоговый коммутатор 4 подается на вход аналого-цифрового преобразователя 5. Информация

о величине вертикальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_y$  для каждого из феррозондовых датчиков через последовательный канал USB передается в персональный компьютер, где импортируется в формат электронных таблиц.

**Результаты исследования.** Результаты первой серии из 119 наблюдений в относительных единицах, пропорциональных величине (А/м) вертикальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_y$  для каждого из феррозондовых датчиков до приложения локальной нагрузки, имитирующей прокатывание колеса, представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Распределение величины вертикальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_{y1}$  вдоль поверхности катания рельса до приложения ударной нагрузки

| Положение по оси ОХ, см | Положение по оси ОУ, см          |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                         | 1                                | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
|                         | Измеряемая величина $H_y$ , о.е. |     |     |     |     |     |     |
| 1                       | -26                              | -25 | -22 | -23 | -24 | -24 | -22 |
| 2                       | -25                              | -24 | -21 | -22 | -23 | -23 | -21 |
| 3                       | -25                              | -24 | -22 | -22 | -23 | -23 | -21 |
| 4                       | -25                              | -25 | -22 | -22 | -23 | -23 | -22 |
| 5                       | -25                              | -25 | -22 | -22 | -23 | -23 | -22 |
| 6                       | -25                              | -25 | -22 | -22 | -23 | -24 | -22 |
| 7                       | -25                              | -25 | -22 | -23 | -23 | -24 | -22 |
| 8                       | -26                              | -25 | -22 | -22 | -23 | -24 | -22 |
| 9                       | -25                              | -25 | -22 | -22 | -23 | -23 | -22 |
| 10                      | -25                              | -25 | -22 | -22 | -23 | -23 | -22 |
| 11                      | -25                              | -25 | -22 | -22 | -23 | -23 | -22 |
| 12                      | -25                              | -25 | -22 | -22 | -23 | -23 | -22 |
| 13                      | -26                              | -25 | -22 | -22 | -23 | -24 | -22 |
| 14                      | -26                              | -25 | -22 | -23 | -23 | -24 | -22 |
| 15                      | -26                              | -25 | -22 | -23 | -24 | -24 | -22 |
| 16                      | -26                              | -25 | -22 | -23 | -24 | -24 | -22 |
| 17                      | -26                              | -25 | -22 | -23 | -24 | -24 | -22 |

Результаты второй серии из 119 наблюдений в относительных единицах, пропорциональных величине (А/м) вертикальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_y$  для каждого из феррозондовых датчиков после приложения локальной нагрузки в виде одиночного силового воздействия в точку поверхности катания рельса с координатами  $X = 7$  см;  $Y = 4$  см, имитирующей прокатывание колеса, представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Распределение величины вертикальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_{y2}$  вдоль поверхности катания рельса после приложения локальной нагрузки

| Положение по оси ОХ, см | Положение по оси ОУ, см          |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                         | 1                                | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
|                         | Измеряемая величина $H_y$ , о.е. |     |     |     |     |     |     |
| 1                       | -27                              | -26 | -23 | -24 | -25 | -25 | -23 |
| 2                       | -29                              | -27 | -25 | -25 | -26 | -27 | -25 |

| Положение по оси ОХ, см | Положение по оси ОУ, см          |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                         | 1                                | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
|                         | Измеряемая величина $H_y$ , о.е. |     |     |     |     |     |     |
| 3                       | -29                              | -27 | -24 | -24 | -25 | -26 | -24 |
| 4                       | -28                              | -26 | -22 | -21 | -22 | -24 | -22 |
| 5                       | -26                              | -23 | -18 | -17 | -18 | -20 | -20 |
| 6                       | -26                              | -22 | -15 | -13 | -14 | -16 | -17 |
| 7                       | -23                              | -20 | -12 | -12 | -12 | -14 | -16 |
| 8                       | -21                              | -20 | -16 | -17 | -18 | -18 | -20 |
| 9                       | -24                              | -23 | -20 | -22 | -24 | -24 | -24 |
| 10                      | -26                              | -26 | -24 | -26 | -28 | -28 | -26 |
| 11                      | -27                              | -28 | -27 | -28 | -30 | -30 | -27 |
| 12                      | -26                              | -27 | -26 | -27 | -29 | -29 | -25 |
| 13                      | -25                              | -25 | -23 | -24 | -25 | -25 | -21 |
| 14                      | -24                              | -24 | -21 | -21 | -22 | -22 | -19 |
| 15                      | -23                              | -22 | -18 | -19 | -20 | -20 | -17 |
| 16                      | -23                              | -21 | -18 | -18 | -19 | -20 | -17 |
| 17                      | -22                              | -21 | -17 | -17 | -19 | -20 | -17 |

График функции, отражающей изменение вертикальной составляющей  $\Delta H_y = H_{y2}(x, z) - H_{y1}(x, z)$  остаточной намагниченности металла в зоне приложения силового воздействия, представлен на рис. 2.

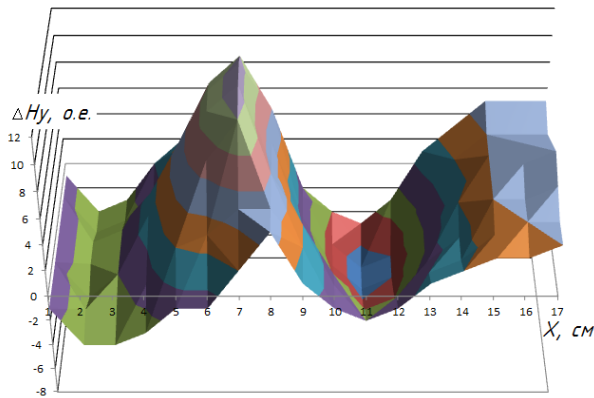


Рис. 2. График изменения остаточной намагниченности металла в зоне приложения силового воздействия

Визуальная оценка полученных данных субъективна и не позволяет однозначно судить о наличии либо отсутствии существенной причинно-следственной связи между локальной нагрузкой, вызванной прокатыванием колеса по поверхности катания рельса, и изменением топологии напряженности магнитного поля вблизи поверхности ферромагнитного тела – головки рельса. Воспользуемся возможностями статистического метода однофакторного дисперсионного анализа.

Выделим прямоугольный участок поверхности катания рельса  $3 \times 4$  см с координатами углов А(6;3); В(8;3); С(8;6); D(6;6), охватывающий зону приложения силового воздействия на поверхность катания рельса, имитирующую воздействие колеса при прокатывании по рельсу. В пределах площади выбранного участка поверхности проведем оценку

влияния локальной нагрузки, вызванной прокатыванием колеса по поверхности катания рельса, на изменение топологии магнитного поля вблизи поверхности ферромагнитного тела – головки рельса.

Обозначим  $p$  – количество уровней фактора ( $p = 2$ ). Число измерений на каждом уровне одинаково и равно  $q = 12$ .

Групповое среднее значение вертикальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_y$  для первой серии из  $q = 12$  наблюдений в относительных единицах, пропорциональных величине напряженности магнитного (А/м):

$$\overline{H_{y1}} = \frac{\sum_{i=1}^q H_{y1.i}}{q} = -22,8333 \text{ о.е.}$$

Групповое среднее значение вертикальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_y$  для второй серии из  $q = 12$  наблюдений в относительных единицах, пропорциональных величине напряженности магнитного (А/м):

$$\overline{H_{y2}} = \frac{\sum_{i=1}^q H_{y2.i}}{q} = -14,25 \text{ о.е.}$$

Находим общее среднее для двух групп наблюдений:

$$\begin{aligned} \overline{H_y} &= \frac{\overline{H_{y1}} + \overline{H_{y2}}}{2} = \\ &= \frac{-22,8333 - 14,25}{2} = -18,79165 \text{ о.е.} \end{aligned}$$

Разброс групповых средних величин напряженности магнитного поля  $\overline{H_{y1}}$  и  $\overline{H_{y2}}$  зависит как от изменения уровня рассматриваемого факторного признака – локальной нагрузки на поверхность катания рельса, так и от случайных сторонних факторов, не связанных с прилагаемым динамическим воздействием.

Находим общую сумму квадратов отклонений, характеризующую общую изменчивость в опыте:

$$\begin{aligned} CKO &= \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^q H_{y j.i}^2 - \overline{H_y}^2 \cdot q \cdot p = \\ &= 6264 + 2667 - (-18,79165)^2 \cdot 12 \cdot 2 = \\ &= 455,97336666 \text{ о.е.}^2 \end{aligned}$$

Определяем сумму квадратов отклонений для вариантов, характеризующую изменчивость между вариантами:

$$\begin{aligned} CKV &= q \cdot \sum_{j=1}^p \overline{H_{y j}}^2 - \overline{H_y}^2 = \\ &= 12 \cdot ((-22,8333)^2 + (-14,25)^2) - \\ &- 2 \cdot (-18,79165)^2 = 218,03843334 \text{ о.е.}^2 \end{aligned}$$

Рассчитываем сумму квадратов отклонений для случайного варьирования, характеризующую влияние случайных факторов (ошибку опыта):

$$\begin{aligned} CKE &= CKO - CKV = \\ &= 455,97336666 - 218,03843334 = \\ &= 237,93493332 \text{ о.е.}^2. \end{aligned}$$

Определяем величину факторной дисперсии (дисперсии вариантов):

$$S_V^2 = \frac{CKV}{p-1} = \frac{218,03843334}{2-1} = 218,03843334 \text{ о.е.}^2$$

Рассчитываем величину остаточной дисперсии (дисперсии ошибок опыта):

$$S_E^2 = \frac{CKE}{p \cdot (v-1)} = \frac{237,93493332}{2 \cdot (12-1)} = 10,8152242418 \text{ о.е.}^2$$

Средние значения величин напряженности магнитного поля в первой серии наблюдений  $\overline{H_{y1}}$  и во второй серии наблюдений  $\overline{H_{y2}}$  не равны между собой

$$(\overline{H_{y1}} = -22,8333) \neq (\overline{H_{y2}} = -14,25),$$

следовательно, нулевая гипотеза об отсутствии влияния локальной нагрузки, вызванной прокатыванием колеса по поверхности катания рельса, на изменение топологии магнитного поля вблизи поверхности ферромагнитного тела – головки рельса, не может быть принята, но и нет оснований для того чтобы она была отвергнута.

Дальнейшую проверку истинности нулевой гипотезы производим по критерию Фишера. Определяем число степеней свободы в рамках проведенного эксперимента.

Число степеней свободы для расчета межгрупповой дисперсии:

$$d.f_1 = p - 1 = 2 - 1 = 1 \text{ (б/р)}.$$

Число степеней свободы для расчета внутригрупповой дисперсии:

$$d.f_2 = p \cdot (v - 1) = 2 \cdot (12 - 1) = 22 \text{ (б/р)}.$$

Оценку производим путем сравнения дисперсии вариантов с дисперсией случайной ошибки по критерию Фишера [7].

Дисперсионное отношение определяется выражением:

$$F_{\text{Набл.}} = \frac{S_V^2}{S_E^2} = \frac{218,03843334}{10,8152242418} = 20,16 \text{ (б/р)}.$$

При вероятности 0,95 и числе степеней свободы  $d.f_1 = 1$ ;  $d.f_2 = 22$  табличное значение критерия Фишера:

$$F_{\text{кр.}} = F_{\text{РАСПОБР}}(0,95; 1,22) = 4,3 \text{ (б/р)}.$$

**Выводы.** Сопоставление значений

$$(F_{\text{Набл.}} = 20,16) > (F_{\text{кр.}} = 4,3)$$

позволяет сделать вывод, что проведенный по критерию Фишера однофакторный дисперсионный анализ результатов наблюдений показал, что при вероятности 0,95 и числе степеней свободы  $d.f_1 = 1$ ;  $d.f_2 = 22$  можно утверждать, что гипотеза о существенном влиянии локальной нагрузки, вызванной прокатыванием колеса по поверхности катания рельса, на изменение топологии магнитного поля вблизи поверхности ферромагнитного тела – головки рельса, верна.

## Л и т е р а т у р а

1. Расчет зон напряженного состояния металлоконструкций транспортных средств для оценки достоверности их определения магнитометрическим методом / Смирный М.Ф., Солодовник М.Д., Малахов О.В., Нестерова В.В. // Вестник Восточноукр. национ. ун-та им. В. Даля. – Луганск, СНУ, 2004. – 12 (82). – С. 154-158.
2. Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский; Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
3. Костин В.Н., Царькова Т.П., Ничипорук А.П., Лоскутов В.Е., Лопатин В.В., Костин К.В. Необратимые изменения намагниченности как индикаторы напряженно-деформированного состояния ферромагнитных объектов. – Дефектоскопия, 2009, № И, С. 54-67.
4. Смирный М.Ф., Солодовник М.Д., Малахов О.В. Оценка напряженно-деформированного состояния металлоконструкций транспортных средств и прогнозирование их остаточного ресурса методом магнитометрической диагностики. // Работы Луганского отделения международного отделения информатизации. – Луганск, 2004. – 2 (9). – С.143-147.
5. В.Г. Кулеев, Г.В. Бида, Л.В. Антагулова. О возможности использования остаточной намагниченности от упругих напряжений для их неразрушающего контроля в стальных ферромагнитных конструкциях // Дефектоскопия. – 2002. – 12. – С. 7-19.
6. Клаасен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.: Постмаркет, 2002. – 352 с.
7. Дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации – Статистический анализ данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://statanaliz.info/index.php/metody/variatsiya/11-dispersiya-standartnoe-otkloneniekoeffitsient-variatsii>.

**Malakhov O.V., Silyanov V.V.**  
**EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF DYNAMIC DETERMINATION OF THE CONTOUR AREA OF THE WHEEL AND RAIL CONTACT BY CHANGING THE MAGNETIC PARAMETERS OF THE RAIL HEAD MATERIAL IN THE AREA OF THEIR FORCE INTERACTION**

*The article is devoted to the topical topic of experimental confirmation of the hypothesis that there is a significant relationship between the local load caused by rolling the wheel on the surface of the rolling rail and a change in the topology of the magnetic field near the surface of the ferromagnetic body – the rail head caused by a change in the residual magnetization of the metal in the area of application of the local load, using a one-factor dispersion analysis of the experimental results.*

**Key words:** railway transport, coupling properties of locomotive wheels, contour contact area, magnetic field topology.

**Малахов Олег Владимирович**, доцент кафедры «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** oleg\_home1@mail.ru

**Malakhov Oleg**, Associate Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Сильянов Валентин Васильевич**, доктор технических наук, профессор, проректор по УМО Московского автомобильно-дорожного института.

**E-mail:** silyanov@bk.ru

**Silyanov Valentin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for UMO of the Moscow Automobile and Road Institute.

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

*Статья подана 16.04.2022*

УДК 621.1.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ВЫРАБАТЫВАЮЩЕГО ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ ДВС

Нечаев Г.И., Чижевская Д. Ю., Никитин Ю.Н., Будиков Л.Я.

## IMPROVEMENT OF THE GAS GENERATOR PRODUCING GASEOUS FUEL FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Nechayev G., Chizhevskaya D., Nikitin Yu., Budikov L.

*Рассмотрены вопросы использования альтернативных видов топлива получаемых после переработки коммунальных отходов и отходов древесины для получения газообразного моторного топлива. Исследован химический состав, физико-механические свойства и топливные характеристики выбранного pelletного топлива. Результаты исследования использовали для расчета и проектирования автомобильного комбинированного параметрического газогенератора. Предложена методика расчета автомобильного газогенератора с учетом системы регулирования его режима работы. Представлен общий вид комбинированного автомобильного параметрического газогенератора, на котором могут быть подтверждены проведенные исследования.*

**Ключевые слова:** отходы для газификации, пеллеты, физико-механические свойства, газогенераторный автомобиль, комбинированный автомобильный параметрический газогенератор, генераторный газ, двигатель внутреннего сгорания.

**Введение.** В настоящее время в мире большое внимание уделяется проблемам экологии в связи, с чем большой интерес в различных странах проявляется к возобновляемым видам топлива. Не смотря на многообразие видов топлив, существует трудность в технологии преобразования их в конвертируемую энергию.

Экологию закрепят в Основном законе, так как ее признают одним из важнейших вопросов государственной политики в России [1].

С 1 января 2020 года регионы России перешли на новую систему обращения с отходами, направленную на минимальное захоронение или сжигание, а также на увеличение объема переработки [2].

В последние несколько лет в регионах России наметилась тенденция к производству RDF-топлива - альтернативного вида топлива, получаемого после переработки отходов, существенная часть которых коммунальные отходы: полиэтилен, бумага, древесина, резина, синтетические волокна, пластик, текстиль, картон, кожа и кожзаменители. Внедрение технологии RDF позволит через два года ряду регионов России перейти на 90% переработку

мусора и как следствие не будет необходимости в мусорных полигонах, сократятся затраты на ископаемые вида топлива, так как 40% мусора используется для производства RDF-топлива [3].

Регионы, обладающие большим количеством запасов отходов древесины, которые в настоящее время сжигаются лесопользователями, налаживают производство альтернативного вида топлива - пеллет как для внутреннего, так и внешнего рынка [4].

На фоне энергокризиса в Европе, вызванного ростом цен на газ, резко возрос спрос на альтернативное топливо - древесные пеллеты [5].

Использование этого вида топлива позволит снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в регионах России. Отапливаться пеллетами выходит значительно дешевле, чем использовать централизованное отопление. Основными потребителями пеллет являются как котельные малой и средней мощности, так и теплоэлектроцентрали. Производство пеллет и их использование позволит создать большое количество рабочих мест. В населенных пунктах, где газификация не планируется, могут быть использованы пеллеты для отопления и получения электроэнергии с использованием ДВС. В труднодоступных районах может быть использованы газогенераторные транспортные средства, использующие генераторный газ, получаемый из пеллет [6].

Одним из экологически чистых видов топлива для двигателя внутреннего сгорания, включая поршневые и газотурбинные двигатели, является газовое топливо [7], в том числе получаемое из промышленных, бытовых отходов, отходов лесопиления и сельскохозяйственных культур путем газификации [8, 9].

Наиболее эффективно использовать эти отходы для газификации в виде пеллет, так как они обладают высокой плотностью, низкой влажностью и стандартизированы по размеру, а это позволяет при их сгорании получать большое количество энергии и точно дозировать их количество при автоматизированной подаче [10, 11].

Большинство конструкций газогенераторов не отвечают современным требованиям, так как не учитывают достижения науки и техники и не используют альтернативные новые виды топлива – пеллеты.

Перевод ДВС на генераторный газ возможен при модернизации основных систем и узлов газогенератора, совершенствовании процессов газификации пеллетного топлива.

Одним из существенных недостатков газогенераторов вырабатывающих газообразное топливо для ДВС является задержка во времени подачи генераторного газа при резком наборе мощности ДВС.

**Целью исследования** совершенствование газогенератора питателя для пеллетного топлива с твердыми древесными и полиэтиленсодержащими отходами транспортного средства путем использования принципа параметрического регулирования рабочего процесса газификации в плоскости фурменного пояса реактора.

**Метод решения.** Известные методики расчёта автомобильных газогенераторов не учитывают возможность их расположения под кузовом автомобиля.

Методика расчёта газогенераторной установки основана на закономерностях физики и химии горения твёрдого топлива и позволяет определить характеристики газогенератора в зависимости от параметров двигателя и вида топлива.

Свойства пеллетного топлива, использованные для расчета, определяли в соответствии со стандартами и по известным методикам: отбор проб по ГОСТ Р 54212-2010; содержание углерода и водорода по ГОСТ 2408.1-95 (ИСО 625:1996); азот по ГОСТ 28743-93 (ИСО 333:1996); кислород по ГОСТ 2408.3-95 (ИСО 1994:1976); сера общая по ГОСТ 2059-95 (ИСО 351:1984)); хлор по ГОСТ 9326-2002 (ИСО 587-97); физико-механические свойства пеллетного топлива по ГОСТ Р 54220-2010; зольность по ГОСТ 11022-95; влажность топлива по ГОСТ 27314-91; выход летучих веществ по ГОСТ 6382-2001; насыпную плотность по ГОСТ 34090.1-2017; механическую прочность по ГОСТ Р 55110-2012; внешний вид по (ГОСТ Р 55553-2013); топливные характеристик по ГОСТ Р 54185-2010, ГОСТ Р 54186-2010. Физико-механические свойства пеллетного топлива представлены в табл. 1, химический состав в табл. 2.

Таблица 1

Сравнительный анализ различных видов пеллет

| Нормы качества                        | Исследуемые древесные пеллеты класса А1 | Древесные пеллеты по ГОСТ Р 55114-2012 (ЕН 14961-2:2011) | DINplus (Германия) | EN-B   |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------|--------|
| Диаметр (мм)                          | 6                                       | 06, 6±1;                                                 | 6                  | 6      |
| Длина (мм)                            | 3 - 40                                  | 3,15 - 40                                                | ≤ 50               | ≤ 50   |
| Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup> | 642                                     | 600                                                      | 650                | ≥ 600  |
| Теплота сгорания, МДж/кг:             |                                         |                                                          |                    |        |
| - низшая                              | 17,39                                   | 16,5                                                     | ≥ 16,5             | ≥ 16,0 |
| - высшая                              | 21,40                                   | 19                                                       | ≥ 18               | ≥ 17,5 |
| Влажность (%)                         | 5,0                                     | 10                                                       | ≤ 10               | ≤ 7    |
| Абразивность                          | 0,25                                    | -                                                        | ≤ 1                | ≤ 1    |
| Механическая прочность, %             | 97,5 – 98,2                             | 97,5                                                     | ≥ 97,5             | ≥ 97,5 |
| Зольность, %                          | 0,5                                     | 0,7                                                      | ≤ 2,5              | ≤ 3,0  |
| Плавкость золы, °С                    | 1580                                    | -                                                        | ≥ 1500             | ≥ 1500 |
| Плотность г/см <sup>3</sup>           | 1,1 - 1,2                               | -                                                        | ≥ 1,12             | ≥ 1,0  |
| Массовая доля летучих веществ, %      | 7                                       | -                                                        | ≤ 8                | ≤ 8    |

Химический состав и физико-механические свойства исследованного пеллетного топлива использовали для расчета и проектирования автоматизированного автомобильного комбинированного параметрического газогенератора устанавливаемого под кузовом автомобиля.

**Проверка предложенного метода.** Расчёт газогенератора производился поэтапно, при этом использовались работы [12-16] и др. авторов. На первом этапе рассчитывались основные параметры прямого процесса газификации пеллетного топлива. К ним относятся: низшая теплота сгорания рабочей массы твёрдого топлива; теплота сгорания сухого генераторного газа; удельный вес сухого

нормального генераторного газа; выход сухого газа из 1 кг рабочей массы топлива; расход воздуха для газификации 1 кг топлива; содержание влаги в генераторном газе; коэффициент полезного действия газогенератора; количество воздуха (м<sup>3</sup>), необходимое для сжигания 1м<sup>3</sup> газа; теплота сгорания газо-воздушной смеси.

На втором этапе рассчитывались основные показатели работы двигателя на генераторном газе. К ним относятся: индикаторный к.п.д; среднее индикаторное давление; среднее давление трения; мощность двигателя; потребный расход генераторного газа для обеспечения расчётной мощности двигателя, численно равный максимальному количеству газа, засасываемого в

камеру сгорания; часовой расход топлива; удельный расход топлива.

При расчете мощности двигателя коэффициент наполнения камеры сгорания генераторным газом принимался равным 0,7 при частоте вращения коленчатого вала 2400 - 2500 об/мин.

На третьем, заключительном этапе определялись размеры основных узлов газогенератора. К ним относятся: внутренний и наружный диаметр камеры газификации; высота камеры газификации; высота и внутренний диаметр зольника газогенератора; размеры (длина, высота, ширина).

Расчёт показателей газогенератора представлен в табл. 2. В качестве силовой установки использован бензиновый 4-тактный двигатель УМЗ-4215.10 (стандарт EURO-0) автомобиля ГАЗ-33023/330273 «Фермер» с удлиненной колёсной базой. Рабочий

объем двигателя – 2890 см<sup>3</sup>. Степень сжатия – 9. Номинальная мощность – 70,5 кВт (96 л.с.) при частоте вращения коленчатого вала 2400 об/мин. Максимальный крутящий момент – 206,0 Н·м (21 кгс·м) при частоте вращения коленчатого вала 2200 - 2400 об/мин. Для переоборудуемых двигателей коэффициент наполнения при работе на газе на 8 - 12 % ниже, чем при работе на бензине. Коэффициент наполнения карбюраторных бензиновых двигателей в режиме полной нагрузки при частоте вращения коленчатого вала 2200 - 2500 об/мин. равен 0,8 - 0,88.

Представленные результаты расчёта указывают на возможность размещения газогенератора под кузовом автомобиля ГАЗ-33023/330273 «Фермер» при работе на pelletном топливе. Суммарная высота камеры газификации и зольника в pelletном газогенераторе составляет 290 мм.

Таблица 2

| Расчетные показатели газогенератора                                            |          |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Параметр                                                                       | Величины |
| Состав генераторного газа, об. %:                                              |          |
| - CO                                                                           | 41       |
| - H <sub>2</sub>                                                               | 24,5     |
| - CO <sub>2</sub>                                                              | 0,6      |
| - N <sub>2</sub>                                                               | 33,9     |
| Достигнутый условный КПД газогенератора $\eta_r$                               | 0,9      |
| Теплота сгорания газа:                                                         |          |
| - ккал/м <sup>3</sup>                                                          | 1860     |
| - МДж/м <sup>3</sup>                                                           | 7,8      |
| Удельный вес газа, кг/м <sup>3</sup>                                           | 1,04     |
| Выхода сухого газа из 1 кг топлива, м <sup>3</sup> /кг                         | 2,35     |
| Расход воздуха на газификацию 1 кг топлива, м <sup>3</sup> /кг                 | 2,4      |
| Влажность газа, кг/м <sup>3</sup>                                              | 0,119    |
| Суммарное содержание водяных паров в газе (кг) при газификации 1 кг топлива    | 0,05     |
| КПД газогенератора, %                                                          | 90       |
| Расход воздуха на сгорание 1 м <sup>3</sup> генераторного газа, м <sup>3</sup> | 1,476    |
| Теплота сгорания газо - воздушной смеси:                                       |          |
| - ккал/м <sup>3</sup>                                                          | 903      |
| - МДж/м <sup>3</sup>                                                           | 3,8      |
| Объем камеры сгорания двигателя, л                                             | 2,9      |
| Степень сжатия                                                                 | 9        |
| Индикаторный КПД                                                               | 0,376    |
| Среднее индикаторное давление, кгс/см <sup>2</sup>                             | 9,3      |
| Среднее давление трения, кгс/см <sup>2</sup>                                   | 1,55     |
| Среднее эффективное давление, кгс/см <sup>2</sup>                              | 7,8      |
| Мощность двигателя, л.с., при 2400 об/мин.                                     | 74       |
| Расход газа (м <sup>3</sup> /ч), обеспечивающий расчетную мощность двигателя   | 64       |
| Часовой расход твердого топлива, кг/ч                                          | 27       |
| Напряженность горения твердого топлива, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)                 | 900      |
| Диаметр камеры газификации, мм                                                 | 195      |
| Удельный объем камеры газификации, л/л.с.                                      | 0,4      |
| Высота активного слоя (мм)                                                     | 200      |
| Высота камеры газификации, мм                                                  | 220      |
| Высота зольника, мм<br>(периодичность чистки зольника 4 часа)                  | 70       |
| Диаметр зольника, мм                                                           | 203      |
| Число фурм/Диаметр фурм, мм                                                    | 6/1,5    |

Для газификации исследуемого пеллетного топлива предлагается автомобильный комбинированный параметрический газогенератор, так как в нем используется принцип параметрического регулирования рабочего процесса в плоскости фурменного пояса реактора (рис. 1).

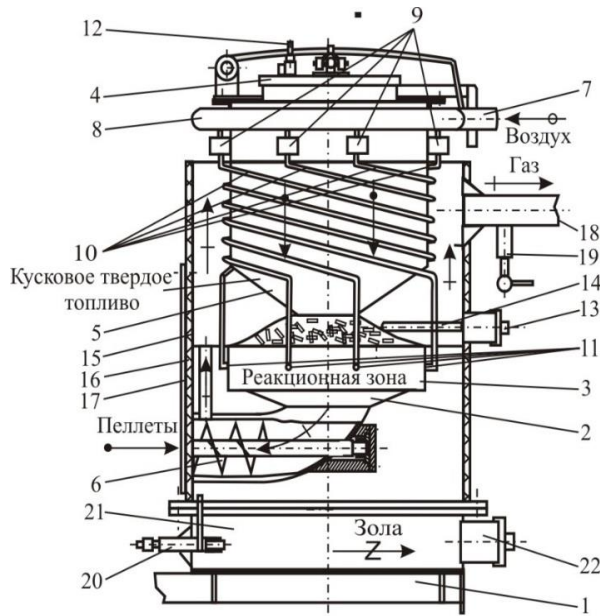


Рис. 1. Общий вид комбинированного параметрического газогенератора:

1 – рама; 2 – пеллетная горелка объемного типа; 3 – топливный реактор; 4 – крышка загрузочного бункера; 5 – топливный бункер; 6 – вращающийся шнек; 7 – воздушный патрубок; 8 – воздушный коллектор; 9 – электромагнитные клапаны; 10 – трубки; 11 – дутьевые фурмы; 12 – предохранительный клапан; 13 – трубчатая кварцевая галогенная лампа; 14 – люк розжига; 15 – газовый резервуар; 16 – термоизоляционный футляр; 17 – внешний защитный кожух; 18 – газоотводный патрубок; 19 – прибор для измерения температуры; 20 – шуровочный механизм; 21 – зольник; 22 – люк зольника

За основу выбран газогенератор, представленный в работе [17]. Представленный в этой работе комбинированный автомобильный газогенератор, не смотря на явные преимущества в сравнении с известными автомобильными газогенераторами, имеет некоторые недостатки в частности не предполагает подогрева воздуха, подаваемого в реакционную зону через фурмы, отсутствует система регулирования режима работы газогенератора. Система регулирования подачи генераторного газа в условиях изменения потребления его ДВС при различных режимах работы транспортного средства является крайне важным аспектом [18].

Для решения этой проблемы на первом этапе определяли количество и размеры фурм, для чего использована методика расчета, представленная в работе [12].

Для получения генераторного газа с высокой теплотой сгорания на всех режимах функционирования газогенератора, включая холостой ход, и для обеспечения гибкости работы газогенератора скорость нагнетания воздуха ( $V_g$ ) должна находиться в пределах 20-50 м/сек.

Число фурм ( $m$ ) принимается от 3 до 12 в зависимости от диаметра реактора.

Используя данные таблицы 2 диаметр фурм определяли из выражения:

$$d_{\phi} = 18,8 \sqrt{\frac{V_g}{mv}}, \quad (1)$$

где  $v = LG_T$  – расход воздуха, м<sup>3</sup>/час;

$G_T$  – расход топлива, кг/час;

$L$  – расход воздуха необходимого для газификации 1 кг топлива, м<sup>3</sup>/кг.

Результаты расчета диаметр фурм представлены в табл. 2.

Загрузку комбинированного автомобильного параметрического газогенератора установленного на раме (1) под кузовом автомобиля осуществляют при заглушенном двигателе. С помощью пеллетной горелки объемного типа (2) сначала заполняется пеллетным топливом реактор (3) изготовленный из жаростойкой стали, а затем кусковым твердым топливом через крышку загрузочного бункера (4) топливный бункер (5) при этом между топливным бункером (5) и реактором (3) образуется столб кускового твердого топлива. Пеллетная горелка подает топливо до тех пор, пока резко не возрастет нагрузка на двигатель, вращающий шнек (6) пеллетной горелки. При возрастании нагрузки происходит отключение двигателя.

Воздух с помощью вентилятора через воздушный патрубок (7) попадает воздушный коллектор (8). Затем через электромагнитные клапаны (9) по трубкам (10) подается в топливный реактор через шесть дутьевых фурм (11). Проходя по трубкам, воздух нагревается и повышает эффективность процесса газификации. При помощи системы электромагнитных клапанов изменяется число задействованных фурм, поддерживающих постоянную скорость истечения воздушного факела из фурмы на различных режимах работы газогенератора. Для поддержания температуры и рабочей площади реакционной зоны постоянными на переходных (не номинальных) режимах происходит чередование в работе фурм. С целью предотвращения аварийной ситуации предусмотрен обратный клапан (12).

Розжиг топлива по всему объему осуществляют при задействовании всех шести фурм с помощью трубчатой кварцевой галогенной лампы мощностью 500 Вт (13) расположенной в люке розжига (14) в течение 30-60 сек.

После предварительных операций газогенератор выходит на рабочий режим. В верхней части реактора (3) реализуется процесс

пиролизной газификации кускового твердого топлива, в нижней – газификация пеллетного топлива, а в средней – газификация смол, выделяющихся из обоих видов топлива. Образующийся газогенераторный газ движется в нижнюю часть реактора (3), затем по корпусу пеллетной горелки (2), и попадает по трубопроводу в полость между топливным бункером (5) и газовым резервуаром (15) размещенным в термоизоляционном футляре (16) который в свою очередь находится во внешнем защитном кожухе (17), и далее, к газоотводному патрубку (18) расположенному в верхней части корпуса газогенератора к которому присоединен магистральный трубопровод, подключенный к двигателю. При таком движении газа происходит обогрев топливного бункера, стабилизируются термохимические процессы, протекающие в реакционной зоне пеллетной горелки (2). При этом происходит подсушка твердого топлива, а газ – охлаждается.

В процессе газификации соотношение пеллетного топлива к золе в реакторе (3) уменьшается, и реакционная зона уменьшается, температура газа падает, что фиксирует прибор для измерения температуры (19). Прибор передает сигнал на включение пеллетной горелки (2). Поступающее в реактор (3) пеллетное топливо вытесняет золу и, возможно, небольшое количество недогазифицированного топлива. Зола и недогазифицированное топливо осыпаются на колосниковые решетки шуровочного механизма (20) на которых недогазифицированное топливо полностью газифицируются. Периодически выполняют шуровку шуровочным механизмом, при этом зола просыпается в камеру зольника (21), откуда она периодически удаляется через люк зольника (22). При заполнении реактора (3), столб пеллетного топлива поднимается и давит на столб кускового твердого топлива, осыпающегося из топливного бункера (5), нагрузка на двигатель, вращающий шнек (6) пеллетной горелки, резко возрастает, и он отключается.

Кроме того, газогенератор, при использовании горелки объемного горения, будет обеспечен датчиками разряжения, датчиком пламени, системой автоматического золоудаления и тушения, датчиком переполнения шнека топливом или перерабатываемого материала и температуры, дисплеем пульта управления (ПУ), с помощью которого выставляется необходимый режим работы, периодичность подачи пеллет в газогенератор в зависимости от заданных настроек. На дисплей выводится не только информация о работе газогенератора, но и о возможных ошибках и неисправностях, о которых сигнализируют специальные символьные индикаторы. Применяемые цифровые технологии, в свою очередь, обеспечат автоматизацию процесса газификации пеллет и устойчивое

функционирование газогенераторного автомобиля [19, 20]. Передача параметров эксплуатации газогенератора в единую информационно-управляющую систему позволит производителю своевременно реагировать на потребности заказчика.

**Вывод.** В результате исследований установлено, что:

1. Химический состав, физико-механические свойства и топливные характеристики выбранного пеллетного топлива указывают на возможность использовать его для совершенствования автоматизированных автомобильных газогенераторов.

2. Представленные результаты расчёта показателей газогенератора, использующего пеллетное топливо позволяют монтировать его под кузовом автомобиля ГАЗ-33023/330273 «Фермер» с удлинённой базой.

3. С целью регулирования подачи генераторного газа в условиях изменения потребления его ДВС при различных режимах работы транспортного средства определено количество и размеры фурм.

4. Разработан автоматизированный комбинированный газогенератор с нижней подачей пеллетного топлива использующий принцип параметрического регулирования рабочего процесса, в плоскости фурменного пояса позволяющий повысить эффективность процесса газификации в газогенераторе за счет подогрева воздуха, подаваемого в реакционную зону через фурмы и при помощи системы электромагнитных клапанов изменять число задействованных фурм, поддерживая постоянную скорость истечения воздуха из фурмы на различных режимах работы газогенератора.

### Л и т е р а т у р а

1. Путин призвал наладить порядок в мусорной реформе 19 декабря 2019 [Электронный ресурс]. – URL: <https://lenta.ru/news/2019/12/19/musor>
2. В России решат проблемы экологии 26 июня 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://lenta.ru/brief/2020/06/26/eko/>
3. MGS Group приступила к производству RDF-топлива 22.11.2019 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.eprussia.ru/news/base/2019/4417185.htm>
4. Возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]. – URL: <https://energy.hse.ru/Wiie>
5. Перед энергокризисом все равны. В Германии вслед за газом дорожает древесное топливо 21.01.2022 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5173552>
6. Никишин В.Н. Обеспечение экологической безопасности автотранспортного комплекса: учебное пособие / В.Н. Никишин, Е.П. Барыльникова. – Набережные Челны, 2019. – 232 с.
7. Кочегаров Д. А. Сравнительный анализ альтернативных видов топлива для транспортных средств / Д. А. Кочегаров, Е. В. Лемешева, П. В. Тихомиров // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. Т. 2. №. 2. С. 373-378.

8. Патюков С.С., Попов Д.А. Перспективы использования альтернативных источников энергии на автомобильном транспорте в РФ [Текст] // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2014. № 1. С. 66-69.

9. Сиваков, В.В. Повышение рационального использования древесины в России/ В.В. Сиваков, И.А. Лупорева // Охрана и рациональное использование лесных ресурсов: матер. VI межд. форума (10-17 июня, Благовещенск-Хайхэ-Харбин). Ч.1.-Благовещенск: ДальГАУ, 2013. С.295-301.

10. Быстрый пиролиз: основы и различия [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.biowatt.com.ua/informatsiya/bystryj-piroliz-osnovy-i-razlichiya/>

11. Cardellicchio, P. Massachusetts Biomass Sustainability and Carbon Policy Study: Report to the Commonwealth of Massachusetts Department of Energy Resources. Natural Capital Initiative Report NCI-2010-03. Manomet Center for Conservation Sciences (2010)

12. Токарев Г.Г. Газогенераторные автомобили / Г.Г. Токарев. – М.: Машгиз, 1955. – 205 с.

13. Kaltschmitt M. Biomass Gasification in Europe / Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy / M. Kaltschmitt, C. Rosch, L. Dinkelbach. – Stuttgart: University of Stuttgart, 1998. – 264 p.

14. Кузнецов Н.Г. Водяной газ в качестве силового газа / Н.Г. Кузнецов // Двигатель. – 2006. – № 3. – С. 46 - 48.

15. Козлов И.А., Евстифеев В.В., Айтыков Р.Ш., Оспанов Ж.Г. Разработка мобильного комплекса с газогенераторной установкой. Научный рецензируемый журнал "Вестник СибАДИ". 2016;(5(51)):76-82. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2016-5\(51\)-76-82](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2016-5(51)-76-82)

16. Леонтьев А.К. К расчету температурного режима и состава генераторных газов при автотермическом способе газификации древесины / А.К. Леонтьев // Теплоэнергоэффективные технологии. – 2003. – № 4. – С. 44-51.

17. Чижевская Д.Ю. 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.

18. Зубакин А. С. Экономия нефтяного топлива и улучшение экологических показателей искрового ДВС путем применения генераторного газа: дис. канд. техн. наук: 05.04.02 / Зубакин Алексей Сергеевич; Киров. ФГБОУ ВО Вятский ГУ, 2021. С. 130.

19. Пат. 67440 Украина, МПК F23K 3/00 Пристрій для подачі твердого палива до установок для спалювання / Губачева Л.О., Андреев О.О., Шевченко Д.Ю.; заявник Губачева Л.О., патентовласник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля; – № 201107909; заявл. 23.06.2011; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 4.

20. Чижевская Д.Ю. Особенности эксплуатации и сервиса автомобилей, работающих на генераторном газе, полученном при переработке бытовых отходов / Л.А. Губачева, И.В. Макарова, Д.Ю. Чижевская, А.А. Андреев // Технический журнал «АвтоГазоЗаправочный Комплекс+Альтернативное Топливо». – 2020. – №11. – С. 515 – 522.

**Nechayev G., Chizhevskaya D., Nikitin Yu., Budikov L.**

**IMPROVEMENT OF THE GAS GENERATOR PRODUCING GASEOUS FUEL FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

*The issues of using alternative fuels obtained after the processing of municipal waste and wood waste to produce gaseous motor fuel are considered. The chemical composition, physico-mechanical properties and fuel characteristics of the selected pellet fuel are investigated. The results of the study were used to calculate and design an automotive combined parametric gas generator. A method for calculating an automobile gas generator is proposed, taking into account the system for regulating its operating mode. A general view of a combined automotive parametric gas generator is presented, on which the studies carried out can be confirmed.*

**Key words:** waste for gasification, pellets, physical and mechanical properties, gas generator car, combined automotive parametric gas generator, generator gas, internal combustion engine.

**Нечаев Григорий Иванович**, д.т.н., профессор кафедры транспортных технологий, Институт транспорта и логистики, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** logistikatt@mail.ru

**Nechayev Grigoriy**, Doctor of Technical Sciences (Engineering), Professor of the «Transport Technologies» SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

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

**E-mail:** shevchenkodu@mail.ru

**Chizhevskaya Darya**, Senior Lecturer of the «Transport Technologies» SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Никитин Юрий Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры материаловедения, Институт технологий и инженерной механики, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** shevchenkodu@mail.ru

**Nikitin Yuri**, Candidate of Technical Sciences (Engineering), Associate Professor of the «Materials science» SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Будиков Леонид Яковлевич**, д.т.н., профессор кафедры аварийно-спасательных работ, Институт гражданской защиты, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** logistikatt@mail.ru

**Budikov Leonid**, Doctor of Technical Sciences (Engineering), Professor of the «Rescue operations» SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

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

Статья подана 23.06.2022

УДК 656.078.12

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ НА ГРУЗОВЫХ СТАНЦИЯХ И В МОРСКИХ ПОРТАХ

Никишкин Ю.А., Дубасов А.В., Лошаков А.С.

## ANALYSIS OF THE STATE OF OPERATION OF TRANSPORT HUBS AT CARGO STATIONS AND IN SEA PORTS

Nikishkin Yu.A., Dubasov A.V., Loshakov A.S.

*В статье представлена структура перевозок внешнеторговых грузов через порты России. Приведен анализ проблематики нормативно-правового регулирования взаимоотношений ОАО «РЖД» и морских портов. Представлены основные принципы электронного взаимодействия ОАО «РЖД» – Клиент – ФТС России, а также исследованы и представлены решения по совершенствованию взаимодействия грузовых станций и морских портов.*

**Ключевые слова:** перевозки, морской порт, грузовые станции, транспорт, взаимодействие, груз.

**Введение.** В настоящее время наблюдается достаточно огромный спектр проблем в транспортной отрасли, а именно трудности во взаимодействии грузовых станций и морских портов. Актуальность данной научной статьи обусловлена необходимостью исследования формирования единой гармоничной транспортной системы Российской Федерации, основанной на эффективном логистическом взаимодействии видов транспорта и потребностями экономики страны. Вместе с тем, в настоящее время сохраняются проблемы недостаточного развития логистики мультимодальных перевозок:

- низкое качество транспортного обслуживания клиентов;
- торможение роста промышленности;
- недостаточная реализация транзитного потенциала РФ;
- недостаточная координация работы видов транспорта, прежде всего – в транспортных узлах [7].

**Цель исследования** – разработка методов организации эффективного взаимодействия разных видов транспорта в транспортных узлах на основе мультимодальных логистических центров.

**Материалы и результаты исследования.** Организация взаимодействия железных дорог и морских портов является важнейшим составным элементом транспортной стратегии России. Этой проблемой занимались В.А. Жуков – «Опыт Северо-Кавказской железной дороги по взаимодействию с морскими портами на основе логистических

технологий», В.И. Сергеев – «Логистические центры в региональных транспортных системах», Е.В. Архангельский – «Железнодорожные станции. Устройство и организация работы».

На территории Российской Федерации сосредоточены три крупнейших морских бассейна: Северо-Западный, Южный, включающий в себя Азово-Черноморский и Каспийский, а также Дальневосточный. Таким образом, РФ обладает мощным портовым потенциалом. По состоянию на 1 января 2021 г. перегрузочная способность терминалов в морских портах оценивалась в 760 млн т, в том числе для наливных грузов – 410 и сухогрузов – 350, и протяженность причального фронта, а это 882 причала, составляла около 140 км [8].

По данным реестра морских портов России, из 63 морских портов в 48 осуществляются перевозки внешнеторговых и транзитных грузов, остальные регионального и местного значения. В целом по России перегрузочные мощности используются на 70% [8].

В морских портах работают 280 стивидорных компаний, которыми в 2019 г. перегружено 526 млн т грузов, в том числе 211,6 сухих и 314,4 наливных. Рост грузооборота составил более 6% [8].

Железнодорожные подъездные пути к морским портам имеют 152 оператора в 30 морских портах, которые обеспечили рост грузопереработки на 10%. За 9 месяцев 2020 г. в портах перегружено 399 млн т грузов, из которых 172 сухие и 227 наливные. При общем увеличении на 1,4% объем перевалки сухогрузов вырос на 8%.

Необходимо отметить, что на протяжении последних лет происходило развитие инфраструктуры транспортных узлов в морских портах, несмотря на тяжелые условия в условиях кризиса и ограничений, связанных с COVID-19.

Сырьевые грузы являются преобладающей грузовой единицей в экспорте, его доля в общем объеме перевозок грузов через порты Российской Федерации составляет 94-95%.

За 9 месяцев 2021 г. перевозки грузов через российские порты распределились следующим образом:

— порты Северо-Запада – 68,6 млн т, в т.ч. – 199 тыс. ДФЭ;

— порты Дальнего Востока – 56 млн т, в т.ч. – 129,7 тыс. ДФЭ;

— порты Юга – 44,4 млн т, в т.ч. – 16,1 тыс. ДФЭ.

Статистические данные были использованы из источника: <https://www.morport.com/rus/content/statistika>.

В настоящее время, как правило, используются две схемы организации обслуживания портов железной дорогой.

I вариант: поезда поступают на предпортовую сортировочную станцию (ППСС), находящуюся на подходах к порту, где выполняется подборка групп вагонов для подачи в порт по фронтам погрузки-выгрузки (ПВФ), а после их выгрузки или погрузки в порту осуществляется вывод вагонов на станцию, формирование и отправление поездов на внешнюю сеть (рис. 1).

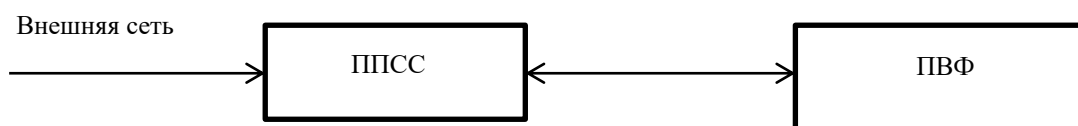


Рис. 1. Схема обслуживания порта по I варианту

II вариант: поезда поступают на предпортовую сортировочную станцию (ППСС), расположенную на подходах к порту, где формируются разборочные поезда в адрес порта, затем они следуют на портовую станцию (ПС) или в районные парки (РП), расположенные непосредственно перед фронтами

погрузки-выгрузки (при достаточной длине фронта есть возможность прямой подачи, минуя районные парки) [2]. На сортировочных путях портовой станции формируют группы вагонов для подачи на фронты погрузки-выгрузки (рис. 2).

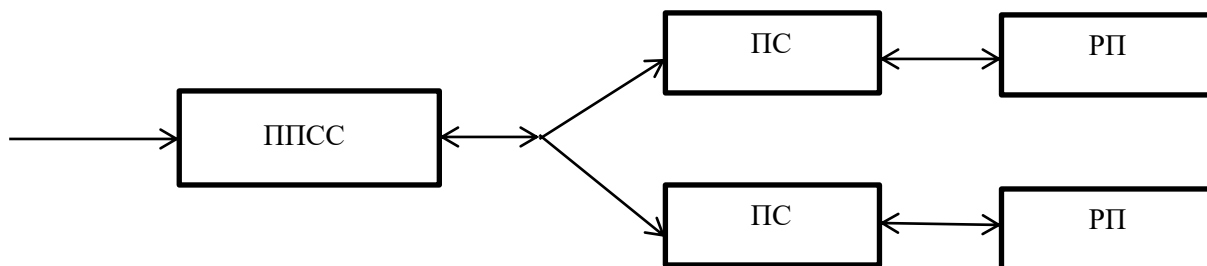


Рис. 2. Схема обслуживания порта по II варианту

Стратегическое сотрудничество между железными дорогами и морским транспортом и владельцами подъездных путей усиливается в связи с введением в эксплуатацию новых отечественных морских портов и расширением существующих.

Важнейшую роль в развитии портов сыграла Федеральная целевая программа «Модернизация транспортной системы России (2002-2010 гг.)», подпрограмма «Морской транспорт». В период действия программы было введено в действие более 330 млн т портовых перегрузочных мощностей, при этом имела соответствующее развитие и инфраструктура других видов транспорта [3]. В качестве примера реализации проектов развития портовой и железнодорожной инфраструктуры можно привести:

- новые перегрузочные комплексы по перевалке минеральных удобрений (Балтийский балкерный терминал (п. Санкт-Петербург) и Восточно-Уральский терминал (п. Восточный), обеспечивающие дополнительный объем

переработки свыше 6 млн т минеральных удобрений;

- универсальный перегрузочный комплекс «Юг-2» и угольный терминал в порту Усть-Луга пропускной способностью 3,0 млн т и 8 млн т в год соответственно;

- зерновые терминалы в портах Новороссийск и Туапсе 3,0 и 2,4 млн т в год;

- железнодорожные паромные переправы в портах Калининград и Усть-Луга;

- угольный терминал ЗАО «Дальтрансуголь» – 12 млн т в бухте Мучка(п.Ванино) и другие.

Вместе с тем, существует еще множество проблем взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в транспортных узлах:

- ухудшение работы по подаче/уборке вагонов в связи с отсутствием квалифицированного персонала;

- дезорганизация управления порожними вагонопотоками в связи с появлением большого количества собственников подвижного состава;

- дисбаланс между пропускной способностью железнодорожной инфраструктуры и портовых комплексов (как пример, Дальтрансуголь – Ванино);
- разобщенность в решении оперативных вопросов по перевозке и предоставлению подвижного состава на местном уровне и в центре;
- увеличение согласовательных процедур при организации перевозки;
- сложность процедуры оформления и декларирования транзитных и импортных грузов, особенно в контейнерах;
- неурегулированность на законодательном уровне порядка взаимодействия организаций железнодорожного транспорта с операторами морских терминалов.

Следующим в развитии отношений между ж/д и портами было принятое в мае 2008 г. постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010-2015 гг.)», которое для обеспечения необходимых темпов роста экономики страны предусматривает ускоренное развитие инфраструктуры морского транспорта, в том числе морских портов Мурманск, Усть-Луга, Восточный, Калининград, Новороссийск, Тамань и специализированных портовых мощностей для переработки контейнерных и накатных грузов.

К концу 2022 г. планируемые портовые мощности (более 1 млрд т в год) должны не только полностью обеспечить потребности экономики страны во внешнеторговых перевозках, но и создать 20-процентный резерв, необходимый для роста производства и развития транзита грузов мировой торговли.

Для обеспечения прогнозируемых объемов грузовых перевозок потребуются комплексное развитие железнодорожной инфраструктуры на ближайших и дальних подходах к морским портам.

В соответствии с Генеральной схемой развития железнодорожного транспорта ОАО «РЖД» на 2017 и 2022 гг. и в соответствии с планируемыми сроками ввода производственных мощностей в портах предполагается рост объемов перевозок в 2022 г. – 441,0 млн т.

Исходя из принятой перспективной грузовой базы, наибольший прирост объемов перевозок грузов с участием железнодорожного транспорта прогнозируется в морских торговых портах Усть-Луга, Мурманск, Высоцк, Приморск – на Северо-Западе страны, Тамань, Новороссийск – в Южном регионе, Ванино, Советская Гавань, Восточный, Посыет – на Дальнем Востоке.

Анализ существующих уровней заполнения пропускных способностей железных дорог показывает, что как на участках основных направлений, так и на прочих участках железных дорог имеются «узкие места», резервы пропускных способностей которых исчерпаны и при постоянно увеличивающемся объеме перевозок являются сдерживающим фактором их освоения.

Актуальным вопросом является инвестирование средств в развитие железнодорожной инфраструктуры на подходах к портам, а также инвестиции, связанные с развитием портового комплекса. Данная мера даст должный эффект при обеспечении взаимодействия между портовиками и железнодорожниками, оптимизации технологических процессов работы портов и станций примыкания, адаптированных к новым экономическим условиям, а также при условии обеспечения гарантированных объемов перевозок по согласованным маршрутам.

Маршруты перевозок экспортных грузов проходят по важнейшим направлениям сети железных дорог от Кузбасса на Северо-Запад, Юг и Дальний Восток. В этих регионах сосредоточены основные работы по усилению инфраструктуры магистральных линий и внедрению прогрессивных технологий перевозочного процесса.

Минимальная оценка необходимых дополнительных инвестиционных средств для освоения перспективных грузопотоков, в том числе на подходах к портам, а также удовлетворения потребностей грузовладельцев и пассажиров Северо-Западного, Южного и Дальневосточного бассейнов, составляет более 400 млрд руб. на период до 2021г. (табл. 1).

Таблица 1

**Потребности в инвестициях в развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования исходя из прогноза объемов и направлений перевозок, млн. тонн в год**

| Основные полигоны сети железных дорог России   | Объем грузовых перевозок за 2015 г. | В 2021г.                                               |                                                |                                      |
|------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|
|                                                |                                     | Объем грузовых перевозок, принятый в Генеральной схеме | Существующие параметры инвестиционного бюджета |                                      |
|                                                |                                     |                                                        | Прогнозируемый объем перевозок                 | Неосвоенный объем грузовых перевозок |
| Кузбасс – Северо-Запад                         | 172,1                               | 260,0                                                  | 212,0                                          | 48,0                                 |
| Кузбасс – Азово-Черноморский бассейн           | 131,7                               | 183,6                                                  | 138,6                                          | 45,0                                 |
| Кузбасс – Дальний Восток                       | 81,5                                | 123,6                                                  | 92,6                                           | 31,0                                 |
| Остальные основные участки сети железных дорог | 956,8                               | 1099,8                                                 | 993,0                                          | 106,8                                |
| <b>Итого</b>                                   | <b>1342,1</b>                       | <b>1667,0</b>                                          | <b>1436,2</b>                                  | <b>230,8</b>                         |

Все это требует со стороны государства и заинтересованного частного сектора экономики пристального внимания и заботы для обеспечения бесперебойной работы транспортного конвейера, высокой слаженности в работе различных участников перевозок, сбалансированного и органичного развития инфраструктур железных дорог и морских торговых портов.

**Пути решения проблемы восполнения имеющегося дефицита инвестиций в развитие железнодорожного транспорта могут быть следующими:**

- выпуск инфраструктурных облигаций Российской Федерации с последующим внесением привлеченных средств в уставной капитал ОАО «РЖД»;

- активизация работы по приведению тарифов на грузовые перевозки к экономически обоснованному уровню и настройке тарифной системы под современные экономические реалии;

- выделение государственных инвестиций в развитие железнодорожной инфраструктуры в рамках

федеральной целевой программы;

- использование потенциала внутреннего рублевого рынка, в частности, средств пенсионного фонда Российской Федерации.

В условиях роста перевозок экспортных грузов через порты России остро встает вопрос об их специализации по перевалке определенных грузов для повышения их перерабатывающих возможностей, улучшения взаимодействия портов и железных дорог, а также маршрутизация как грузевых, так и порожних вагонопотоков. Также для обеспечения растущих объемов экспортно-импортных и транзитных грузов, в т.ч. контейнерных грузов и мелких партий, потребуется создание мультимодальных логистических центров (железнодорожных хабов) по принципу «сухой порт».

«Сухой» железнодорожный порт – это терминал, расположенный вне границ территории порта, связанный с ним единой технологией обработки грузов, предлагает услуги по доставке грузов на судно до порта-получателя, минуя стадию «морской порт» как отдельный этап перевозки (рис. 3).

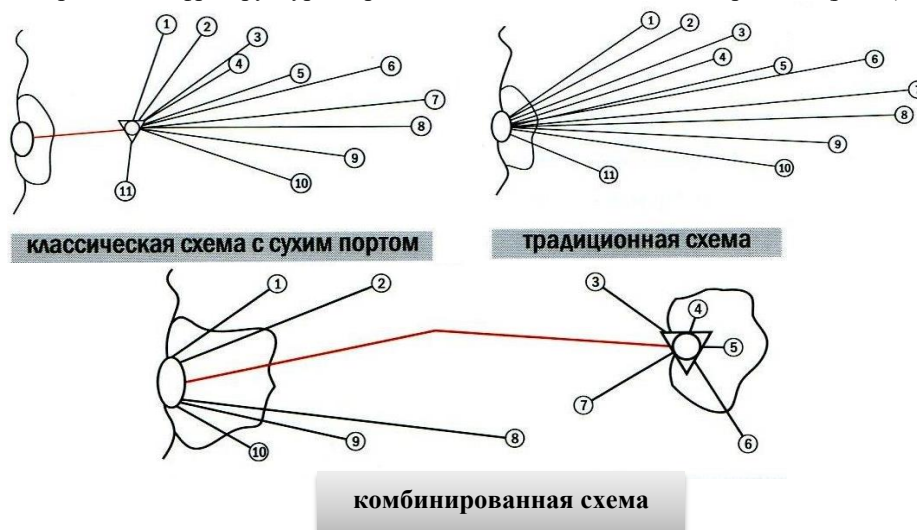


Рис. 3. Классификация сухих железнодорожных портов

**Основные функции сухого железнодорожного порта:**

- вывод с территории морских портов непрофильных операций (хранение, растаривание и т.п.);
- консолидация (судовых партий, поездных норм и пр.);
- распределение (порт, регион, материк, транзит и пр.);
- хранение (в том числе биржевое);
- оказание комплекса услуг с добавленной стоимостью;
- таможенное оформление грузов [4].

**Реализация транспортных технологий с использованием «сухого» железнодорожного порта позволяет:**

- увеличить перерабатывающую способность морских портов;

- обеспечить повышение эффективности перевозочного процесса;

- снизить транспортные издержки;

- снизить инвестиционную нагрузку при формировании портовой инфраструктуры, обеспечить более быстрый ввод объектов в эксплуатацию;

- снизить вероятность возникновения условий для «брошенных поездов»;

- снизить экологическую нагрузку и загрузку улично-дорожной сети.

Потребность в более тесном взаимодействии железнодорожного и морского транспорта в узлах находит отражение в инвестиционной и тарифной политике, планировании перевозок, работе по заключению взаимовыгодных соглашений и договоров, применении новейших информационных технологий, сопровождающих перевозочный процесс (рис. 4).

Учитывая системный характер проблемы организации взаимодействия железнодорожного и морского транспорта касательно согласованного подвода вагонов и судов, а также оптимизации норм выгрузки вагонов в портах на основе договоров на подачу и выгрузку, очевидно, что ее решение заключается в разработке и реализации на основе единой методологии комплекса согласованных мероприятий, в том числе в части правового поля. В настоящее время ни Устав, ни Правила перевозок грузов в смешанном железнодорожно-водном

сообщении не рассматривают оператора морского терминала, обеспечивающего только перегрузку грузов с одного вида транспорта на другой, в качестве участника узловых соглашений, которые заключаются исключительно между смежными видами транспорта, отвечающими за подвод подвижных единиц (вагонов, флота).

Необходимые мероприятия для решения оптимизации взаимодействия морских портов и ОАО «РЖД» представлены на рис. 4.



Рис. 4. Нормативно-правовое регулирование взаимоотношений ОАО «РЖД» и морских портов

Кроме того, необходим ряд мероприятий организационного, финансово-экономического, методического, информационного и технологического характера, учитывающих интересы всех участников транспортного процесса, в частности:

- внедрение графического движения, в особенности для массовых экспортных грузов, транзитных грузов;
- контейнерные поезда;
- внедрение современных технологических решений на основе электронного обмена данными;
- оптимизация и совершенствование работы таможенных, пограничных и иных государственных служб, осуществляющих контроль за перемещением товаров;

– модернизация портов и проведение мероприятий по развитию железнодорожной инфраструктуры на подходах к портам.

В настоящее время ОАО «РЖД» и совместно с ФГУП «Росморпорт», ООО «БФИ», ООО «Аншип», компанией «Усть-Луга» проводят такую работу при организации железнодорожно-паромного сообщения Усть-Луга – Балтийск. Официально опубликованы «Общие коммерческие условия» и «Основные принципы формирования цены». ОАО «РЖД» и морские перевозчики заключили соглашение о работе обозначенным флотом – погрузка прибывших на станцию примыкания вагонов осуществляется на ближайший паром. Обеспечить четкую, бесперебойную работу линии по расписанию, а

также доставку грузов точно в срок – одна из основных задач, направленных на обеспечение будущей успешной работы данного проекта.

Одним из факторов, влияющих на ускорение перевозки иностранных товаров железнодорожным транспортом и повышение конкурентоспособности оказываемых услуг, является время, затрачиваемое всеми участниками перевозочного процесса на совершение операций таможенного администрирования в пунктах пропуска. На сокращение времени таких операций направлена реализация программы по предварительному информированию таможенных органов с целью принятия решений о выборе форм таможенного контроля товаров и транспортных средств до прибытия грузов на территорию Российской Федерации, оптимизации проведения таможенных процедур, исключения задержек товаров, перемещаемых транзитом.

Железнодорожный транспорт и порты являются сложными капиталоемкими

производствами. Внедрение современных технологий обмена информацией позволит существенно улучшить качество взаимодействия на стыке железная дорога – порт, снизить издержки в области документооборота при существенном процессе его ускорения [6].

Основные принципы электронного взаимодействия ОАО «РЖД» и порта заключаются в следующем: на основании данных заявки формы ГУ-12 оформляется электронная накладная и далее все оформление груза происходит на безбумажных носителях информации (рис. 5).

Как ранее было сказано, необходимо срочное принятие Закона о транзите. Также внедрение института предварительного информирования нацелено на минимизацию финансовых затрат грузополучателей, предоставляя возможность передачи информации, не прибегая к услугам таможенных представителей (рис. 6).

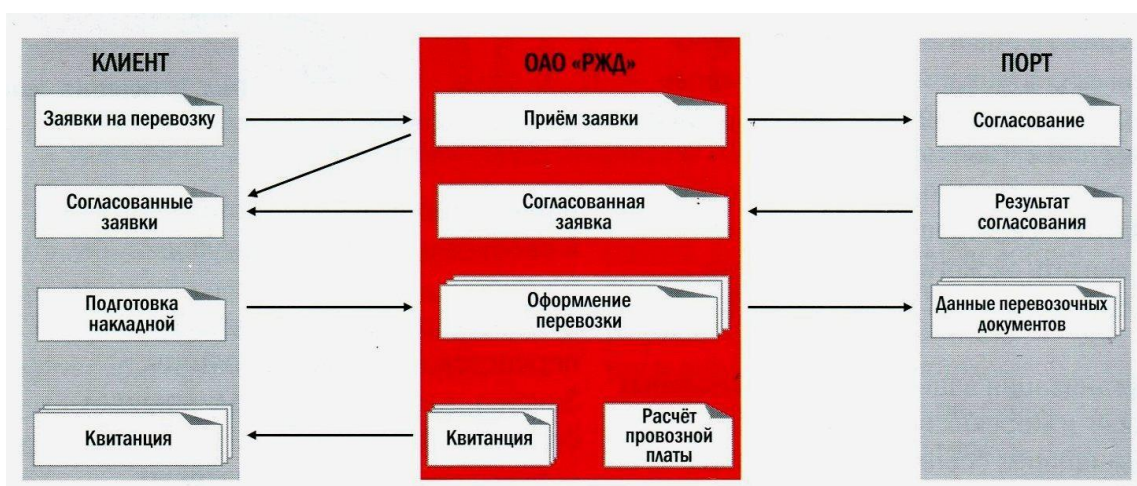


Рис. 5. Основные принципы электронного взаимодействия ОАО «РЖД» и порта

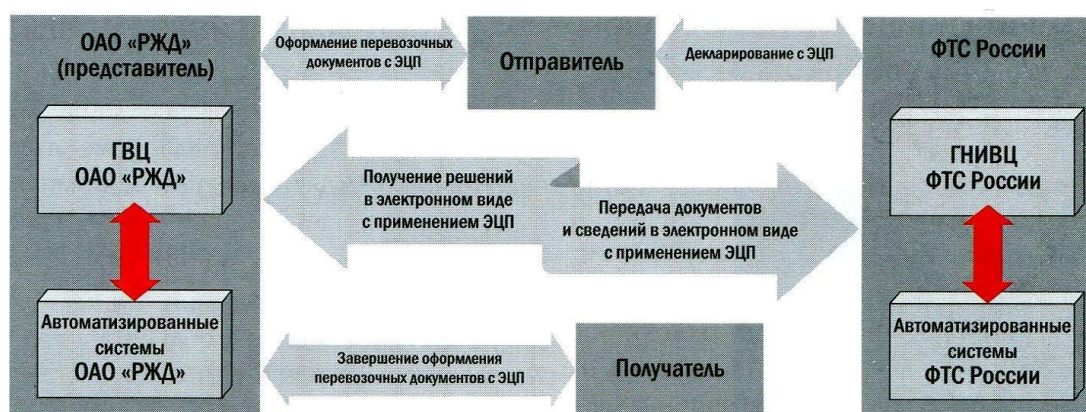


Рис. 6. Основные принципы электронного взаимодействия ОАО «РЖД» – Клиент – ФТС России

Согласование заявки на перевозку грузов:

- грузоотправитель оформляет заявку на перевозку ф. ГУ-12;
- ОАО «РЖД» осуществляет предварительное согласование заявки;

- порт рассматривает заявку с учетом дат прибытия груза в порт и принимает решение о согласовании заявки со своей стороны;
- ОАО «РЖД» осуществляет окончательное согласование заявки;

• АС ЭТРАН обеспечивает информирование грузоотправителя, порта и станции ОАО «РЖД» об окончательном решении по заявке.

Электронизация:

• получения разрешений на погрузку, разгрузку, перегрузку, замену транспортного средства, смену декларанта;

• выпуска товаров с территории Таможенного Союза;

• информирования о прибытии, убытии товаров и транспортных средств;

• помещения под таможенную процедуру таможенного транзита;

• оформления временного ввоза/вывоза транспортных средств международной перевозки (ТСМП);

• изменения места доставки;

• продления срока таможенного транзита, срока временного ввоза ТСМП;

• завершения таможенных процедур.

Электронное взаимодействие между таможенными органами и ОАО «РЖД» основывается на централизованном обмене через вычислительные центры сторон документами, сведениями, авторизованными сообщениями в электронной форме, подписанными электронной подписью.

**Выводы.** 1. Проведена систематизация мультимодальных логистических центров на базе крупных припортовых станций, обслуживающих нескольких операторов морских терминалов и владельцев путей необщего пользования в виде компаний с участием заинтересованных в их работе партнеров.

Это, с одной стороны, позволит решить необходимые вопросы взаимодействия, а с другой – собственники данных центров будут заинтересованы в их развитии с вложением необходимых средств, так как успех их работы напрямую связан с работой МЛЦ.

2. Разработаны методы организации эффективного взаимодействия разных видов транспорта в транспортных узлах на основе мультимодальных логистических центров.

### Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ Р 51006-96 Услуги транспортные. Термины и определения: дата введения 01.10.1997 [Статус – действующий].

2. Берталанфи Л. Общая теория систем – обзор проблем и результатов // Системные исследования: Ежегодник. – М.: Наука, 1969. С. 30-54.

3. Богатырев В.Д. Повышение эффективности управления промышленными комплексами путем разработки и внедрения механизмов согласованного взаимодействия // Управление большими системами: сборник трудов. – 2004. – № 8. – С. 88-105.

4. Богданова Т.В. Возможности применения теории типовых бизнес-процессов при выборе формы транспортно-экспедиционного обслуживания клиентуры / Т.С. Кяримова, Т.В. Богданова // Инновации и инвестиции. – 2014. – № 12. – С. 86-90.

5. Большой экономический словарь / Под ред. А.Н. Азрильяна. – 7-е изд., доп. – М.: Институт новой экономики, 2010. – 890 с.

6. Бородецкий Г., Гусев Д. Экономико-математические методы и модели в логистике. Процедуры оптимизации. – М.: Изд-во «Академия», 2012. – С. 312.

7. <http://www.dslib.net/upravlenie-perevozki/tehniko-tehnologicheskie-parametry-funkcionirovaniya-gruzovyh-stancij.html>.

8. [www.morvesti.ru/analitika/](http://www.morvesti.ru/analitika/).

**Nikishkin Yu.A., Dubasov A.V., Loshakov A.S.**

### ANALYSIS OF THE STATE OF OPERATION OF TRANSPORT HUBS AT CARGO STATIONS AND IN SEA PORTS

*Analysis of the state of operation of transport hubs at cargo stations and seaports of the Russian Federation. This paper presents the structure of transportation of foreign trade goods through the ports of Russia. An analysis of the problems of legal regulation of relations between Russian Railways and seaports is given. The main principles of electronic interaction between Russian Railways JSC - the Client - the Federal Customs Service of Russia are presented, as well as solutions for improving the interaction between cargo stations and seaports are researched and presented.*

**Key words:** transportation, seaport, cargo stations, transport, interaction, cargo.

**Никишкин Юрий Анатольевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** danko\_ua@mail.ru

**Nikishkin Yuriy**, Ph.D.(Tech), docent of the «Transport Technologies» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

**E-mail:** an\_dubas30@mail.ru

**Dubasov Andrey**, Senior Lecturer of the «Transport Technologies» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Лошаков Александр Сергеевич**, студент 2 курса магистратуры направления подготовки «Интеллектуальные транспортные системы» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** keksvrucke@gmail.com

**Loshakov Alexander**, 2st year student of the master's degree in the direction of training «Intelligent transport systems» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Тарарычкин Игорь Александрович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортные технологии» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 25.05.2022

УДК 629.113.004

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НАД ОСНОВНЫМИ ДИАГНОСТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Панайотов К.К.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF VEHICLE OPERATION BY IMPROVING THE CONTROL SYSTEM OVER THE MAIN DIAGNOSTIC PARAMETERS

Panayotov K.K.

*В статье рассмотрены особенности методов анализа надежности узлов и агрегатов автомобилей с учетом реальных условий эксплуатации и критерии выбора диагностической информации об эксплуатационных параметрах автомобиля с точки зрения ее информативности и достоверности. Определена функция сохранения работоспособности узлов и агрегатов автомобиля. Представлена методика ранжирования по информационной значимости диагностических параметров.*

**Ключевые слова:** критерии информативности диагностических параметров, функция сохранения работоспособности агрегата, сенситивы.

**Введение.** Повышение уровня надежности систем и агрегатов автомобилей при эксплуатации в различных дорожных условиях должно обеспечиваться своевременным техническим обслуживанием и предупредительными ремонтами. Эти сроки не всегда совпадают с плановыми ТО и Р. Согласно исследованиям [1], большинство автомобилей в автохозяйствах обслуживаются в соответствии с планово-предупредительной стратегией технического обслуживания и ремонта, которая в полной мере не обеспечивает эксплуатационную надежность систем и агрегатов автомобилей. Это связано с недостаточной полнотой и достоверностью диагностической информации, которая является основой оценки показателей надежности систем автомобиля.

**Цель исследования.** Для повышения эффективности эксплуатации автомобилей необходимо определить четкие критерии информативности и относительной чувствительности диагностических параметров транспортных средств в реальных условиях эксплуатации с последующей реализацией стратегии технического обслуживания и ремонта.

**Материалы и результаты исследования.** Распространенный на сегодняшний день метод анализа надежности деталей, узлов и механизмов основан на предположении, что отказы узлов и агрегатов автомобиля происходят в зависимости от

времени эксплуатации. Под этим подразумевается время работы, циклы работы или холодного пуска. Единственным параметром надежности для детали, которая выходит из строя в течение некоторого времени, является среднее время наработки на отказ (наработка на отказ) или, наоборот, частота отказов.

Определение частоты отказов является одновременно простой и удобной процедурой. Для этого необходимы эмпирические данные по времени работы до отказа для данного узла или агрегата в процессе его работы или данные эксперимента по исследованию надежности. На основании этого определяется среднее значение выборки или частота отказов и строятся математические модели надежности. Интегральная функция плотности распределения отказов  $Q(t)$  используется для моделирования распределения частоты отказов деталей и выражается как дифференциальная зависимость:

$$q(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (1)$$

Дифференциальная функция вероятности появления отказа для любых типов данных моделирует закон распределения. Распределение описывается его показателями математического ожидания и дисперсии. Формы распределения могут быть симметричными, как нормальное распределение, или несимметричными с положительным сдвигом (типичными для времени до ремонта) или несимметричными с отрицательным сдвигом (типичными для времени до отказа). Согласно интегральной функции вероятности появления отказа, вначале отказ маловероятен, а с ростом времени обслуживания вероятность отказа возрастает. Интегральная функция  $Q(t)$  используется для моделирования совокупной вероятности неисправных деталей для заданного значения времени и выражается в виде неопределенного интеграла для функции распределения от 0 до  $t$ :

$$Q(t) = \int_0^1 \lambda e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Суть функции вероятности появления отказа заключается в том, что большее количество деталей выходит из строя по мере увеличения времени работы, является равным 0, когда время работы равно 0, и становится равным 1, когда все детали вышли из строя.

Данная функция объясняет принцип выхода деталей из строя по мере увеличения времени их работы. Количество деталей, вышедших из строя, является равным 0, когда время работы равно 0, а когда все детали вышли из строя, становится равным 1.

Экспоненциальная функция вероятности безотказной работы  $P(t)$  является дополнением к вероятности появления отказа  $Q(t)$  и используется для моделирования совокупной вероятности сохранения работоспособности узла или агрегата автомобиля за указанное значение времени.

$$P(t) = 1 - Q(t) = e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

Функция сохранения работоспособности объясняет, что с увеличением времени работы остается работоспособным меньшее количество деталей. Она принимает значение 1, когда время работы равно 0, и становится равной нулю, когда все детали в процессе работы вышли из строя.

Если работа автомобиля происходит при разных режимах, а следовательно, и интенсивностях отказов  $\lambda_1$  (за время  $t_1$ ) и  $\lambda_2$  (за время  $t_2$ ), то выражение (3) примет вид (4)

$$P(t) = 1 - Q(t) = e^{-(\lambda_1 t_1 + \lambda_2 t_2)}. \quad (4)$$

В этом случае возникает резонный вопрос о возможности постоянной фиксации значения мгновенной интенсивности отказов  $\lambda_i$ . Без этого говорить о возможности применения данного выражения можно только в теоретическом плане для построения математических моделей надежности, применение которых на практике будет затруднено. Сделанные в лаборатории эксплуатации автомобильного транспорта ЛНУ им. В. Даля теоретические и экспериментальные исследования [2, 3] показывают возможность фиксации значений основных ресурсопределяющих параметров работы автомобиля в зависимости от потока отказов в различных условиях эксплуатации. Интеллектуальный подход к системе ТО и Р позволяет обоснованно разрабатывать систему эксплуатации с максимально возможным использованием ресурса, заложенного в автомобиль.

Распределение отказов по времени характеризуется функцией плотности распределения  $f(t)$  наработки до отказа. Экспоненциальная функция наработки на отказ  $f(t)$  представляет собой соотношение дифференциальной функции распределения времени безотказной работы детали

и ее функции сохранения работоспособности и используется для моделирования мгновенной частоты отказов детали при заданном значении времени:

$$f(t) = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda. \quad (5)$$

Экспоненциальная часть данной функции является константой. Это означает, что детали выходят из строя с одинаковой частотой независимо от времени эксплуатации. Надежность во время периода эксплуатации определяется как вероятность того, что деталь будет функционировать без сбоев в течение заданной продолжительности времени эксплуатации при заданных условиях использования. Экспоненциальная надежность во время периода работы  $R_{EXP}(t)$  рассчитывается как условная вероятность того, что деталь сохранит работоспособность с любого момента времени службы до этого времени, плюс продолжительность периода работы (миссии) и использует функцию сохранения работоспособности для моделирования этой условной вероятности:

$$R_{EXP}(t) = \frac{P(t+\tau)}{P(t)} = \frac{e^{-\lambda(t+\tau)}}{e^{-\lambda t}} = e^{-\lambda \tau}. \quad (6)$$

Экспоненциальная часть надежности во время периода работы детали постоянна с течением времени работы в течение заданной продолжительности периода работы детали.

Необходимо отметить, что подход с экспоненциальной надежностью не моделирует поведение отказа узла или агрегата автомобиля при механическом и конструктивном проектировании. Концепция постоянной частоты отказов узлов и агрегатов, постоянная надежность работы деталей механизмов не применимы к условиям эксплуатации в реальных условиях. Детали, узлы и агрегаты автомобиля не имеют одинаковой вероятности выхода из строя в любой момент времени в процессе эксплуатации, а также не являются одинаково надежными при любом значении времени эксплуатации. Понятие постоянной частоты отказов является некорректным ввиду того, что значение надежности во время работы детали одинаково для всего периода эксплуатации от 0 часов до  $n$  часов.

Поэтому процесс диагностирования систем и агрегатов автомобилей характеризуется неопределенностью их технического состояния в процессе эксплуатации, а его изменение можно контролировать диагностическими параметрами. Контроль каждого параметра снижает неопределенность технического состояния автомобиля. В свою очередь диагностируемые параметры должны формировать максимум информации о техническом состоянии объекта и адекватно отражать реальное состояние с учетом

вероятностных характеристик его отказов при эксплуатации [4].

Задача выбора контролируемых параметров для определения технического состояния систем и агрегатов автомобиля формулируется следующим образом: для выявленного перечня узлов и агрегатов автомобиля, которые характеризуются конечным множеством контролируемых диагностических параметров и показателей надежности, необходимо обосновать некоторые группы этих объектов, имеющие наибольшую информативность [5]. Для решения этой задачи строят информационную модель объекта и рассчитывают вероятностные характеристики его нахождения в исправном состоянии и неисправных состояниях вследствие отказа составных частей. Затем рассчитывают количество информации, вносимой диагностическим параметром, на основании чего определяют группы узлов и механизмов, подлежащих техническому диагностированию и определению технического состояния систем и агрегатов и автомобиля в целом.

Информационная модель объекта включает структурно-следственную модель и матрицу технических состояний. Структурно-следственная модель [4] строится на основе изучения эксплуатационной надежности автомобилей, ее структурно-функциональных составляющих и анализа причинно-следственных связей по следующей иерархической схеме:

- первый уровень соответствует исследуемому автомобилю (вершина) и его составляющим частям, имеющим отказы в эксплуатации;
- второй уровень характеризует совокупность отказов, возникающих в ходе эксплуатации;
- третий уровень – множество внешних признаков отказов;
- четвертый уровень – контролируемые параметры технического состояния узлов и агрегатов автомобиля.

Структурно-следственная модель позволяет выделить взаимосвязи между системами и агрегатами автомобилей и их элементами и контролируемыми параметрами. На основе этой модели строится диагностическая матрица технических состояний, строки которой соответствуют множеству контролируемых параметров  $D_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, M$ , а столбцы – состоянию отказов составных частей систем и агрегатов автомобилей, включая их работоспособное состояние.

Общее число возможных состояний систем и агрегатов автомобилей, учитывая их  $N$  функциональных элементов, обуславливает множественную альтернативность результата диагностирования, которая составляет  $2^N - 1$ . При решении задач диагностирования необходимо учитывать, какие неисправности и отказы практически возможны в эксплуатации. Отметим, что в теории эксплуатации автомобилей отказы

элементов считают несовместимыми событиями. На практике предполагают, что в системах и агрегатах автомобилей одновременно возможен отказ только одного элемента. Приняв это предположение, число возможных состояний систем и агрегатов автомобилей снижается до числа комбинации из  $N$  ее элементов по одному  $C_N^1 = N$ .

Учитывая данные работ [3, 4], базирующихся на применении теорем об асимптотической эквивалентности неравновероятных событий равновероятным, есть основания принять все возможные состояния систем и агрегатов автомобиля равновероятными. Вместе с тем обеспечить равную надежность и прочность всех элементов автомобиля в эксплуатации невозможно, а потому использование указанного предположения может привести к неверным результатам, и для выбранных диагностических параметров, различающих и характеризующих состояния, будет низкая вероятность нахождения в них систем и агрегатов автомобиля. Для устранения этого недостатка необходимо рассмотреть множество отказов систем и агрегатов автомобиля, которые характеризуют его как наиболее вероятную систему с конечным множеством состояний, равным числу его отказавших элементов. Появление каждого из них характеризуется определенной вероятностью. Для определения вероятности безотказной работы воспользуемся полученной базой статистических данных об отказах систем и агрегатов автомобиля на данном пробеге и известными оценкам априорной вероятности по теории надежности [5, 6]. При этом нужно иметь в виду, что системы и агрегаты автомобиля могут находиться в одном из  $N$  общих состояний полной группы событий:

$$\sum_{j=0}^N P(S_j) = 1, \quad (7)$$

где  $P(S_j)$  – вероятность  $S_j$  состояния,  $N$  – количество возможных состояний.

Для учета равновероятностных состояний систем и агрегатов автомобиля предлагается использование физико-информационного подхода, основой которого является привлечение к обоснованию надежности их технического состояния информационной энтропии. При расчете информативности диагностических параметров систем и агрегатов автомобиля использованы основные свойства информационной энтропии как меры неопределенности.

Априорная информационная энтропия как количественная характеристика неопределенности технических состояний систем агрегатов ТМ перед началом диагностирования рассчитывается по формуле:

$$H_0 = \sum_{j=0}^N P(S_j) \log_2 P(S_j). \quad (8)$$

Неопределенность технических состояний системы и агрегатов автомобиля, которая остается после диагностирования  $D_\varphi$ -го параметра, определяется по формуле:

$$H_\varphi(D_\varphi) = P(D_\varphi)H(D_\varphi) + P(\bar{D}_\varphi)H(\bar{D}_\varphi), \quad (9)$$

где  $H^\varphi(D^\varphi)$  – апостериорная энтропия агрегатов и систем автомобиля после диагностирования  $D^\varphi$  параметра,  $P(D^\varphi), P(\bar{D}^\varphi)$  – вероятность нахождения  $D^\varphi$  параметра в границах поля допуска или за ними,  $H^\varphi(D^\varphi), H(\bar{D}^\varphi)$  – соответствующие значения энтропии.

Для определения диагностических параметров  $D^\varphi$  необходимо проводить ранжирование по информационной значимости. В случае одинакового количества информации в дальнейших расчетах выбирают только один из них в соответствии с логической операцией "или", или контроль которого проще осуществить. На каждом шаге процесса определяется условная энтропия, характеризующая техническое состояние объекта в результате контроля одного из диагностических параметров. При этом получаем упорядоченную по количеству внесенной информации совокупность контролируемых параметров. Значительный перечень ранжированного ряда диагностических параметров вносит определенную степень неопределенности и увеличивает расчетную загруженность системы баз данных.

В этом случае для определения необходимого наиболее информативного количества диагностических параметров необходимо применить физико-информационный подход.

В процессе эксплуатации автомобиля происходит изменение диагностических параметров ее систем и агрегатов. Важной задачей при этом является учет развития или закономерностей изменения параметров диагностирования, которые описывают техническое состояние систем и агрегатов транспортных средств. Их векторы характеризуют автомобиль как техническую систему в эксплуатации, с функциональной схемой взаимосвязи (рис. 1).

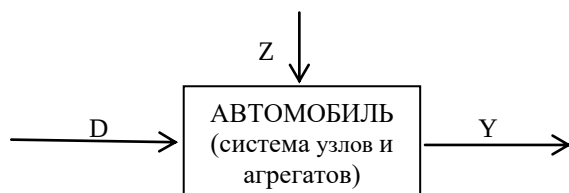


Рис. 1. Функциональная схема взаимосвязи параметров автомобиля:  $D$  – совокупность внутренних (диагностических) параметров;  $Z = Z_1 + Z_2$  ( $Z_1$  – совокупность параметров условий эксплуатации;  $Z_2$  – совокупность технических воздействий);  $Y$  – совокупность параметров функционального предназначения деталей, систем и агрегатов автомобиля

Сложная взаимосвязь совокупностей разнородных параметров в функциональной схеме требует математической интерпретации и обобщения возможных их связей, а также более качественного проведения контроля и мониторинга технического состояния ТМ [7]. Обобщенные функциональные зависимости параметров математических моделей систем и агрегатов ТМ можно представить в виде функций совокупностей прямых связей:

$$y_i = f(D_i, \alpha_i, z_i, \delta_i), i = \overline{1, n}, \quad (10)$$

а также обратных связей, связанных с надежностью автомобиля и проведением ТО:

$$y_i = f(D_i, \beta_i, \tilde{z}_i, \gamma_i), i = \overline{1, n}, \quad (11)$$

где  $D_i$  – совокупность диагностических параметров технического состояния систем и агрегатов автомобиля;  $z_i$  – возмущения параметров управления техническим состоянием при обратной связи;  $\gamma_i$  – параметры принятия решений, применительно к технической эксплуатации в реальных условиях.

В условиях фиксированных математических моделей (10-11) техническое состояние автомобиля определяется выбором совокупности диагностических параметров –  $\alpha_i$ , условий эксплуатации –  $\beta_i$ , погрешности измерений –  $\delta_i$ , принятия решений –  $\gamma_i$ . Совокупности технических и эксплуатационных параметров функциональных состояний автомобиля можно свести в один вектор  $\vec{Y}$ :

$$\vec{Y} = (\vec{\alpha}, \vec{\beta}, \vec{\gamma}, \vec{\delta}). \quad (12)$$

При этом условием нормального функционирования автомобиля, с учетом функции (12), является:

$$R(\vec{Y}) \subset M_y, \quad (13)$$

где  $R(\vec{Y})$  – пространство векторов значений технического состояния  $\vec{Y}$  сопряжений деталей, систем и агрегатов и автомобиля в целом во время эксплуатации;  $M_y$  – множество работоспособных состояний автомобиля. Исходя из соотношения (13) для обеспечения работоспособного состояния автомобиля необходимо постоянно контролировать параметры, описывающие их техническое состояние систем и агрегатов в данных условиях эксплуатации.

Информацию о процессах, которые протекают во время эксплуатации, и техническое состояние систем и агрегатов автомобиля получают различными физическими методами. Эффективно обрабатывать полученную базу данных можно с использованием

методов обобщенной теории графов и теории чувствительности функции. Исследование изменения функции технического состояния автомобиля от изменения существенных факторов и параметров с помощью критерия относительной чувствительности (сенситива) имеет существенные преимущества по сравнению с методами абсолютной чувствительности, в основе которых положено содержание производной. В первую очередь это то, что критерий относительной чувствительности является безразмерной величиной и имеет ряд других характерных свойств [5], которых можно придерживаться и использовать при анализе базы данных о техническом состоянии систем и агрегатов и ТМ в целом.

Математическая сущность критерия заключается в построении отношения относительного прироста целевой функции состояния к относительному приросту фактора или параметру:

$$seny_i(x) = \frac{dy_i(x)}{y_i(x)} \cdot \frac{x}{dx} = \frac{dy_i(x)}{dx} \cdot \frac{x}{y_i(x)}. \quad (14)$$

Эту форму представления критерия относительной чувствительности (сенситив) предлагается использовать для оптимальной оценки любого диагностического параметра, который необходимо подвергать контролю при определении технического состояния систем и агрегатов ТМ.

Выводы. Осуществлять контроль условий эксплуатации автомобиля, контролировать и учитывать динамическое изменение технического состояния затруднительно и энергозатратно из-за того, что системы и агрегаты автомобиля на определенном промежутке наработки могут находиться в различных эксплуатационных условиях. Значение погрешности диагностического параметра является также немаловажным фактором, влияющим на периодичность и процессы ТО. В связи с этим принятие решений и использование стратегий восстановления работоспособного состояния ТМ нуждаются в теоретическом обосновании, с описанием и учетом всех факторов, существенно влияющих на время эксплуатации и изменения технического характера состояния систем, агрегатов в целом. С теоретической точки зрения эксплуатацию автомобиля целесообразно отражать как математическую модель причинно-следственных связей между совокупностью факторов и параметров, с учетом взаимодействия деталей, агрегатов и систем автомобиля между собой и с внешней средой.

#### Л и т е р а т у р а

1. Замота Т.Н., Панайотов К.К., Крупица О.В. Усовершенствование системы технического обслуживания транспортных средств путем анализа потока отказов и выявления причин их появления / Т.Н. Замота, К.К. Панайотов, О.В. Крупица // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2021. – № 6 (48). – С. 63-69.
2. Панайотов К.К., Панайотова А.Н., Налесников И.А. Аспекты исследования потока отказов систем автомобиля при разработке методики предварительного

диагностирования состояния узлов и агрегатов // Экономические, экологические и социальные проблемы промышленных регионов: Материалы XI международной научно-практической конференции "Экономические, экологические и социальные проблемы промышленных регионов" – Краснодар: издательство КраФИМ, 2020. – С. 163-165.

3. Замота Т.Н., Панайотов К.К., Караичев А.А. Характеристика отказов и структура диагностической информации о техническом состоянии автомобиля Nissan / Т.Н. Замота, К.К. Панайотов, А.А. Караичев // Вестник ЛГУ им. В. Даля – Луганск: ЛГУ им. В. Даля, 2020. – С. 100-108.

4. Аулин В.В., Гринькив А.В., Лысенко С.В., Голуб Д.В., Мартиненко О.Д. Теоретико-физический подход к диагностической информации о техническом состоянии агрегатов мобильной сельскохозяйственной техники // Вестник ХНТУСХ им. П. Василенко. – 2015. – № 158. – С. 252-262.

5. Опанович В.А. Диагностирование технического состояния автомобилей / В.А. Опанович, Ю.Д. Карпиевич, Г.П. Грибко // Вестник БНТУ. – 2010. – № 5. – С. 74-18.

6. Аулин В.В., Гринькив А.В. Теоретический анализ диагностических параметров технического состояния систем и агрегатов средств транспорта с помощью методов теории чувствительности // Научный вестник НАУ. Серия: техника и энергетика АПК. – 2017. – Вып. 262. – С. 227-239.

7. Box G., Jenkins M., Reinsel C. Time series analysis: forecasting and control. N.J: John Wiley. – 2008. – 746 p.

**Panayotov K.K.**

#### **IMPROVING THE EFFICIENCY OF VEHICLE OPERATION BY IMPROVING THE CONTROL SYSTEM OVER THE MAIN DIAGNOSTIC PARAMETERS**

*The article discusses the features of methods for analyzing the reliability of components and assemblies of cars, taking into account real operating conditions and criteria for selecting diagnostic information about the operational parameters of the car, in terms of its informativeness and reliability. The function of maintaining the operability of the components and assemblies of the car is determined. The method of ranking according to the informational significance of diagnostic parameters is presented.*

**Key words:** criteria for the informativity of diagnostic parameters, the function of maintaining the operability of the unit, sensitives.

**Панайотов Константин Константинович**, к.т.н.,

доцент кафедры информационных технологий и транспорта, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** k.panayotov@mail.ru

**Panayotov Konstantin**, Cand. Sci (Tech.), Associate Professor in Department of Information Technology and Transport of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

*Статья подана 14.03.2022*

УДК 622.625.6

## ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИВОДЕ ШАХТНЫХ ПОДВЕСНЫХ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ НА АККУМУЛЯТОРНОЙ ТЯГЕ

Рябко К.А.

## TRANSITION PROCESSES IN THE DRIVE OF MINE SUSPENDED MONORAIL LOCOMOTIVES ON ACCUMULATOR TRACTION

Ryabko K.A.

*Статья посвящена актуальной научно-технической задаче исследования переходных процессов, протекающих в приводе шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге. С целью выявления взаимосвязи основных параметров привода шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге приведена графическая интерпретация их типовых режимов работы. По критерию изменения угловой скорости вала двигателя при изменении момента выполнена оценка различных вариантов электропривода шахтных монорельсовых локомотивов. Приведено математическое описание механических переходных процессов, протекающих в приводе.*

**Ключевые слова:** рудничный монорельсовый локомотив, режим работы, аккумуляторная тяга, электродвигатель, механическая характеристика, привод, переходной процесс.

**Введение.** Тяговый привод является основным техническим средством, позволяющим повысить производительность и уровень автоматизации шахтных подвесных монорельсовых локомотивов. На монорельсовом шахтном подземном транспорте в настоящее время широко распространен дизельный привод, который на ряду с преимуществами имеет ряд существенных недостатков. С развитием силовой электроники и электрохимических систем все большую актуальность приобретает использование аккумуляторной тяги на шахтных подвесных монорельсовых локомотивах. Общим звеном для всех рудничных аккумуляторных локомотивов является электромеханический преобразователь энергии.

Горные тяговые электромеханические преобразователи отличаются от общепромышленных повышенными требованиями к взрывобезопасности, надежности и невосприимчивости к перегрузкам при движении по знакопеременным профилям горных выработок в пределах  $\pm 35^\circ$ . Приводы шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной

тяге могут отличаться большим разнообразием конструктивного исполнения, что в первую очередь обусловлено применением различных типов электродвигателей, систем управления и регулирования тягового усилия. Тем не менее все они имеют такие схемотехнические решения, которые функционально являются стандартными.

Таким образом, оценка переходных процессов в приводе шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Спецификой шахтных подвесных монорельсовых локомотивов является их эксплуатация в условиях сложного разветвления путей горной выработки и эксплуатация на знакопеременном профиле пути. Ни одна вспомогательная транспортная система горных предприятий не может обеспечить транспортирование грузов и людей по знакопеременным профилям с углами наклона пути до  $\pm 35^\circ$  [1-3]. При этом наблюдается частое изменение режимов работы самого локомотива и соответственно тягового привода. Эта особенность вызывает значительный интерес у ученых, занимающихся исследованием условий и режимов работы шахтных подвесных монорельсовых локомотивов [4-7].

Тем не менее следует отметить, что в большинстве исследований рассматривается динамика экипажной части локомотива, взаимодействие привода с монорельсом или выполненные исследования посвящены исследованию приводов подвесных монорельсовых дизелевозов [1-7]. Целенаправленные исследования, посвященные процессам, протекающим в приводе шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге, не проводились. Применение литий-ионных аккумуляторных батарей в качестве источника электрической энергии в составе привода шахтных подвесных монорельсовых локомотивов и все больший интерес к монорельсовым локомотивам

на аккумуляторной тяге обуславливает актуальность исследований, направленных на установление взаимосвязи основных параметров механических звеньев привода шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге.

**Цель исследования.** Целью данного исследования является оценка механических переходных процессов, протекающих в приводе шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге.

Для достижения поставленной цели в работе определены следующие задачи:

- выполнить обзор научных исследований, посвященных переходным процессам, протекающим в приводе шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге;
- рассмотреть тяговый привод шахтного подвесного монорельсового локомотива как взаимосвязь электромеханического преобразователя электрической энергии аккумуляторной батареи и механических звеньев, осуществляющих передачу вращающего момента к приводным колесам локомотива;
- выполнить анализ влияния типовых режимов работы на процессы, протекающие в механической части привода шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге;
- используя методы математического анализа, получить уравнения, описывающие в общем виде движение механической части привода и время переходного режима изменения угловой скорости приводных колес локомотива.

**Материалы и результаты исследования.** Прежде всего в приводах шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге следует выделять активные и конструктивные элементы. К активным относятся такие элементы, в которых происходят основные физические процессы, реализующие электромеханическое преобразование электрической энергии аккумуляторных батарей в кинетическую энергию движения локомотива.

Механическая часть тягового привода шахтных локомотивов на аккумуляторной тяге представляет собой, как правило, сложную электромеханическую систему, состоящую из инерционных тел – роторов/якорей электродвигателей, соединительных муфт, зубчатых редукторов и приводных колес. При этом взаимосвязанные между собой части тягового привода могут совершать вращательное движение с разными параметрами, а в некоторых случаях и движение различного вида.

В исключительных случаях приводные колеса, реализующие силу тяги шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге, непосредственно связаны с валом электродвигателя. В большинстве случаев тяговый привод содержит механический редуктор.

На основании вышеизложенного целесообразно рассматривать тяговый привод шахтного подвесного монорельсового локомотива как взаимосвязь электромеханического преобразователя электрической энергии аккумуляторной батареи и механических звеньев, осуществляющих передачу вращающего момента к приводным колесам локомотива.

Рассмотрим следующую взаимосвязь основных параметров привода шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге: статический момент нагрузки и момент инерции; виды статических моментов нагрузки тягового привода; приведение статических моментов нагрузки и моментов инерции; уравнение движения тягового привода шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге.

При режиме работы локомотива, когда управляющие и возмущающие воздействия являются только функциями скорости или возмущающие воздействия постоянны, например, локомотив движется по выработке с нулевым профилем монорельса  $M_{пр.мех} = M_c = \text{const}$ , в данном случае момент приводного двигателя уравнивает момент сопротивления  $M_{пов} = M_c$ , соответственно наступает установившийся статический режим работы тягового привода, который характеризуется постоянной угловой скоростью вращения вала электродвигателя и соответственно приводных колес  $\omega = \text{const}$  и отсутствием ускорений  $\varepsilon = d\omega / dt = 0$  (рис. 1, з, д) участков  $v = \text{const}$ .

Если режимы работы шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге представляют собой периодические функции времени или управляющее или возмущающее воздействия изменяются в зависимости от совокупности разных типовых режимов работы (рис. 1, а-д), то после полного затухания свободного движения наступает установившийся нестационарный режим работы привода, представляющий собой принужденное движение локомотива, которое характеризуется тем, что режимные параметры привода – скорость и моменты (силы) включают в себя периодическую составляющую.

В случае, когда управляющее и возмущающее воздействия на тяговый привод локомотива являются функциями скорости, условие равенства моментов двигателя привода и момента сопротивления –  $M_{пов}(\omega) = M_c(\omega)$  является необходимым для существования статического установившегося режима, но недостаточным, так как при этом возможен случай неустойчивого равновесия, например, движение локомотива на затяжном подъеме с углом наклона монорельса до  $35^\circ$  (рис. 1, в).

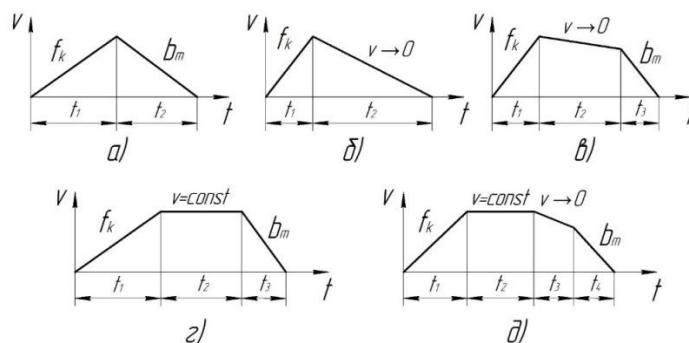


Рис. 1. Типовые режимы работы шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге:  $V$  – скорость движения локомотива;  $t$  – время движения локомотива;  $f_k$  – тяговый режим;  $v=const$  – движение с равномерной скоростью;  $v \rightarrow 0$  – режим выбега;  $b_m$  – режим торможения;  $t_i$  – время движения локомотива на  $i$ -м режиме

Соответственно основной частью тягового привода шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге, определяющей в большей степени его свойства, является двигатель и приводные колеса. Эти звенья могут иметь различные сопряжения с помощью промежуточных редукторов, также возможно применение разных типов электродвигателей постоянного или переменного тока, но для задач исследования взаимосвязи основных параметров привода главными являются зависимости вращающего момента от скорости или частоты вращения  $M = f(\omega)$ , эти зависимости представляют собой механические характеристики (рис. 2).

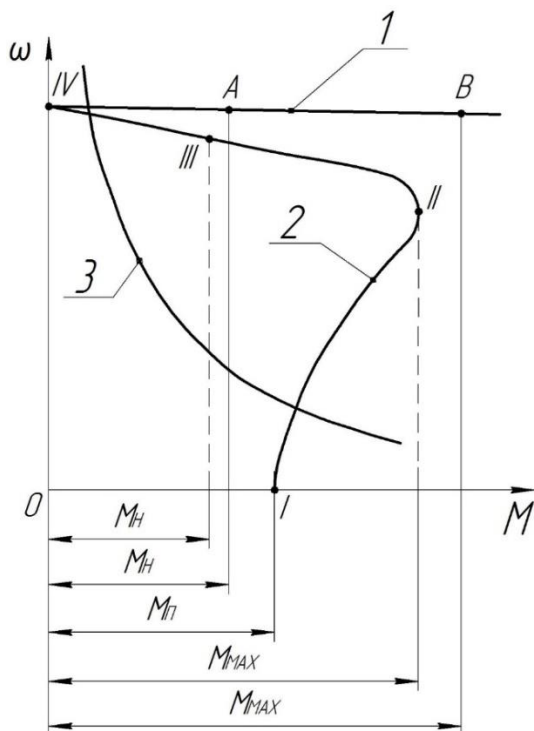


Рис. 2. Механические характеристики электродвигателей приводов шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге

Для шахтных подвесных монорельсовых локомотивов интерпретацией механических характеристик могут являться зависимости силы тяги от скорости движения  $F_m = f(v)$  или в некоторых случаях мощности от скорости движения  $N_j = f(v)$ .

Выполним оценку различных вариантов привода монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге по степени изменения угловой скорости вала двигателя при изменении момента, которая называется жесткостью механической характеристики и определяется отношением  $\alpha = \Delta M / \Delta \omega$ .

Механическая характеристика синхронного двигателя в составе привода шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге представляет собой зависимость  $\omega = f(M)$ , прямая 1 (рис. 2). Точка A на механической характеристике соответствует номинальному режиму, а точка B – максимальному моменту  $M_{MAX}$ . Характерная особенность механической характеристики синхронного привода – независимость частоты вращения ротора от момента сопротивления на осях приводных колес, данный аспект обуславливает сложность системы регулирования скорости и силы тяги локомотива. Следовательно, синхронный привод шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге имеет абсолютно жесткие характеристики,  $\alpha = \infty$ .

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя привода шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге кривая 2 (рис. 2) имеет два характерных участка – разгонный I–II и рабочий II–III–IV. При начале движения локомотива двигатель развивает пусковой момент (участок 0–I), после начала движения вал приводного асинхронного двигателя разгоняется по участку I–II–III до точки III. На участке I–II увеличиваются как угловая скорость, так и момент на валу, который достигает своего максимального значения в точке II. При разгоне локомотива отрезок II–III угловая скорость приводного вала, как и скорость локомотива,

продолжает увеличиваться, а момент уменьшается до номинальных значений (точка III). Анализ механической характеристики свидетельствует, что при работе двигателя на участке II–III характеристики наблюдаются перегрузки, это объясняется тем, что в любой точке данного участка момент двигателя больше номинального. Соответственно асинхронный привод шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге имеет жесткие характеристики со сравнительно небольшим падением скорости при увеличении момента.

Механическая характеристика приводного двигателя постоянного тока кривая 3 (рис. 2) представляет собой оптимальную характеристику с точки зрения регулирования силы тяги локомотива, однако применение двигателей постоянного тока с развитием силовой электроники и микропроцессорных систем регулирования нивелирует данные преимущества в сравнении с другими типами привода. Таким образом, привод локомотива с двигателями постоянного тока имеет мягкие механические характеристики с большим относительным падением скорости при увеличении момента.

Рассмотрим в общем случае статические моменты нагрузки привода шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге.

Как было сказано ранее, с целью обобщенного анализа приводов шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге по выделенным типовым режимам их работы используем характеристики  $M_c = f(\omega)$  или  $\omega = f(M_c)$ . Вращающий момент, который должен развивать тяговый двигатель для обеспечения требуемого режима движения локомотива в статическом режиме, называется моментом нагрузки  $M_c$ . К основным показателям, от которых зависит статический момент привода шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге, относятся скорость, путь, время и профиль пути монорельса в горной выработке.

По характеру изменения статического момента электродвигательный привод можно отнести к классу приводов горных машин, у которых статический момент зависит одновременно от скорости движения и от профиля пути, по которому следует локомотив  $M_c = f(\omega, s)$ . Соответственно в таком приводе нагрузка статического режима, кроме сухого трения в подвесах и приводных колес о монорельс, зависит также от сопротивления воздушного потока, уклона и кривизны пути.

Рассмотрим приведение статических моментов нагрузки и моментов инерции привода шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге.

Привод монорельсового локомотива осуществляет преобразование электрической энергии аккумуляторной батареи во вращательное

движение приводных колес, как правило, через механическую передачу. Оценку динамики привода, как правило, выполняют с учетом двух или трех наибольших масс, которые приведены к частоте вращения выходного вала.

С целью приведения моментов сопротивления от одной оси вращения привода к другой рассмотрим энергетический баланс системы [8-9]:

$$M_{c, \text{нм}} \cdot \omega_{\text{нм}} \frac{1}{\eta_{\text{нм}}} = M_c \cdot \omega_{\text{д}},$$

$$M_c = M_{c, \text{нм}} \frac{\omega_{\text{нм}}}{\omega_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{нм}}} = \frac{M_{c, \text{нм}}}{i \cdot \eta_{\text{нм}}},$$

где  $M_{c, \text{нм}}$  – момент сопротивления передачи мощности;

$M_c$  – момент сопротивления, приведенный к частоте вращения приводного вала двигателя;

$\omega_{\text{нм}}$  – угловая скорость приводных колес;

$\omega_{\text{д}}$  – угловая скорость вала двигателя привода;

$i$  – передаточное отношение тягового редуктора;

$\eta_{\text{н}}$  – КПД передачи мощности.

Запишем уравнение движения привода шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге.

Для расчета механических переходных процессов в приводе монорельсового локомотива запишем уравнение движения в форме Коши [8]:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (M - M_c),$$

где  $J$  – момент инерции, приведенный к валу двигателя привода.

Учитывая, что моменты сопротивления можно разделить на:

– реактивные – моменты, которые препятствуют реализации силы тяги (знак момента при изменении направления движения локомотива меняется);

– активные – моменты, возникающие от действия сил тяжести, растяжения-сжатия и др. (знак момента при изменении направления движения локомотива не меняется).

В нашем случае принимаем, что вращающий момент привода положительный, если его направление совпадает с направлением движения локомотива.

Исходя из наиболее типовых режимов работы привода шахтного подвесного монорельсового локомотива (рис. 1), уравнение движения в общем виде принимает вид [8-10]:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (\pm M \mp M_c). \quad (1)$$

Рассмотрим механические переходные процессы в приводе шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге.

Переходным процессом в приводе монорельсового локомотива называется процесс перехода из одного установившегося состояния в другое. Для приводов шахтных монорельсовых

локомотивов основными переходными процессами являются процессы изменения нагрузки на валу двигателя, пуска, реверсирования движения и торможения.

Исследование переходных процессов целесообразно выполнять для оценки нагрузки на механическую передачу мощности с вала двигателя на приводные колеса монорельсового локомотива и выбора основных параметров тягового электродвигателя.

При протекании переходных процессов совместно и согласованно происходят электромагнитные, тепловые и механические процессы. Так как тепловые процессы в приводе являются самыми медленными и при анализе переходных режимов обычно не учитываются, они будут рассмотрены в дальнейших исследованиях, посвященных исключительно тепловым процессам в аккумуляторных батареях и электродвигателях привода. Если учитывать, что механические и электромагнитные процессы в приводе практически всегда взаимосвязаны и имеют одинаковую продолжительность, для шахтных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге их целесообразно рассматривать одновременно и объединить понятием электромеханический переходный процесс.

Все переходные процессы в приводе монорельсового локомотива связаны с изменением количества потенциальной и кинетической энергии в тяговой электрической передаче. Электромагнитные процессы в тяговых двигателях связаны с изменением энергии магнитных полей. Механические процессы в приводе связаны с изменением кинетической энергии движущихся частей привода.

Если учитывать, что тяговые электродвигатели переменного тока на рабочем участке имеют линейную механическую характеристику (рис. 2), данный аспект позволяет определить основные взаимосвязи электромеханических переходных процессов в приводе.

Для определения времени типовых режимов работы шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге можно использовать уравнение движения.

Решив уравнение движения (1) относительно производной скорости, получим:

$$d\omega = \frac{\pm M \mp M_c}{J} dt = \varepsilon dt, \quad (2)$$

где  $\varepsilon = \frac{\pm M \mp M_c}{J} dt = \varepsilon dt$ , – ускорение привода шахтного подвесного монорельсового локомотива.

Выполнив интегрирование уравнения (2):

$$\int_{\omega_{нач}}^{\omega} d\omega = \int_0^t \varepsilon dt,$$

получим время переходного режима  $t_{np}$  изменения угловой скорости приводных колес локомотива от  $\omega_{нач}$  до  $\omega_{кон}$ :

$$t_{np} = \frac{\omega_{кон} - \omega_{нач}}{\varepsilon} = \frac{J(\omega_{кон} - \omega_{нач})}{\pm M \mp M_c}.$$

При равенстве моментов  $M = M_c$  ускорение  $\varepsilon = 0$ , соответственно привод локомотива реализует установившееся движение.

В общем случае время пуска и торможения тягового привода можно определить по уравнению:

$$t_{n,m} = \frac{J\omega}{M_{дин}},$$

где  $M_{дин}$  – динамический момент тягового привода монорельсового аккумуляторного локомотива.

Следовательно, величина динамического момента  $M_{дин}$  является основным критерием, определяющим время протекания переходных процессов при трогании с места и торможении локомотива.

**Выводы.** Рассмотрен тяговый привод шахтного подвесного монорельсового локомотива как взаимосвязь электромеханического преобразователя электрической энергии аккумуляторной батареи и механических звеньев, осуществляющих передачу вращающего момента к приводным колесам локомотива.

Приведена графическая интерпретация типовых режимов работы шахтных подвесных монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге.

Выполнена оценка различных вариантов привода монорельсовых локомотивов на аккумуляторной тяге по степени жесткости механической характеристики.

Установлено, что по характеру изменения статического момента электродвигательный привод подвесных монорельсовых локомотивов можно отнести к классу приводов горных машин, у которых статический момент зависит одновременно от скорости движения и от профиля пути, по которому следует локомотив  $M_c = f(\omega, s)$ .

Приведены уравнения для расчета механических переходных процессов в приводе шахтного подвесного монорельсового локомотива на аккумуляторной тяге, которые позволят оценить взаимосвязь основных механических параметров привода.

## Л и т е р а т у р а

1. Gutarevych V. Dynamic model of movement of mine suspended monorail / V. Gutarevych // Transport Problems. – 2014. – Vol. 9, Iss. 1. – P. 13-18.
2. Gutarevych V. Research on the Influence of Dynamic Load on Suspended Monorail / V. Gutarevych [et al.] // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 806. – P. 23-29.
3. Konsek R. Elektryczny napęd górniczych kolejek podwieszonych / R. Konsek // Maszyny Elektryczne: zeszyty problemowe. – 2017. – Vol. 113. – No. 1. – P. 195-198.

4. Szezerda K. Supporting development of suspended underground monorails using virtual prototyping techniques // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – Vol. 545. – P. 1-10. – DOI:10.1088/1757-899X/545/1/012018.

5. Гутаревич В. О. Динамика тягового устройства шахтной подвесной монорельсовой дороги / В. О. Гутаревич, М. П. Кондратенко // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – Т. 12. – №. 3(45). – С. 410-417. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-410-417.

6. Herbus K. Virtual prototyping of the suspended monorail in the aspect of increasing the permissible travel speed in hard coal mines / K. Herbus, K. Szezerda, J. Swider // Eksploat. Niezawodn. – 2020. – Vol. 4. – P. 610-619.

7. Tokarczyk J. A. et al. Research on the impact of forces and acceleration during the riding and braking of a suspended monorail // Archives of Mining Sciences. – 2020. – P. 399-414. DOI 10.24425/ams.2020.133199.

8. Кононенко Е. В. Влияние момента инерции и момента сопротивления привода на переходные процессы пуска и реверса рольганговых двигателей / Е. В. Кононенко, Б. А. Данчинов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 1971. – Т. 212. – С. 496-502.

9. Егоров В. Ф. Переходные процессы механизмов с электрическим приводом в двухпериодном режиме работы / В. Ф. Егоров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2010. – Т. 316. – №. 4. – С. 165 – 168.

10. Мамити Г. И. Уравнения прямолинейного движения колесной машины / Г. И. Мамити // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2017. – №. 1. – С. 47-53.

**Ryabko K.A.**

#### **TRANSITION PROCESSES IN THE DRIVE OF MINE SUSPENDED MONORAIL LOCOMOTIVES ON ACCUMULATOR TRACTION**

*The article is devoted to the actual scientific and technical problem of the study of transient processes*

*occurring in the drive of mine suspension monorail locomotives on battery traction. In order to identify the relationship of the main parameters of the mechanical part of the drive of mine suspended monorail locomotives on battery traction, a graphical interpretation of their typical operating modes is given. An assessment of various drive options for battery-powered monorail locomotives is carried out according to the degree of rigidity of the mechanical characteristics and the nature of the change in the static moment created by the drive of suspended monorail locomotives, in which the static moment depends simultaneously on the speed of movement and on the profile of the track, is established. Equations are given for calculating mechanical transient processes in the drive of a mine suspended monorail locomotive on battery traction, which will make it possible to assess the relationship between the main mechanical parameters of the drive.*

**Key words:** mining monorail locomotive, operating mode, battery traction, electric motor, mechanical characteristic, drive, transient process.

**Рябко Константин Александрович**, кандидат технических наук, доцент, декан факультета, Государственная образовательная организация высшего профессионального образования «Донецкий институт железнодорожного транспорта».

**E-mail:** railroader@yandex.ru

**Ryabko Konstantin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty, State Educational Organization of Higher Professional Education “Donetsk Institute of Railway Transport”.

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

*Статья подана 1.03.2022*

УДК 629.4.086

## ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В МОБИЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Сильянов В.В., Костюченко Д.Н., Малов В.А.

## INFORMATION PROCESSING IN A MOBILE DEVICE FOR DYNAMIC WEIGHING OF RAILWAY VEHICLES

Silyanov V.V., Kostyuchenko D.N., Malov V.A.

*Статья посвящена актуальной теме применения инновационных подходов к решению задачи повышения безопасности перевозок железнодорожным транспортом. Предложена концепция системы обработки информации мобильного устройства для динамического взвешивания железнодорожных транспортных средств с использованием метода магнитной записи на рельс.*

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, безопасность перевозок, динамическое взвешивание, обработка информации.

**Введение.** В современных устройствах взвешивания железнодорожных транспортных средств одной из основных является система обработки информации. Причём применяются как микропроцессорные системы (например, «БОИ-ЗВ»), так и компьютерные системы (например, «НВМ»),

Достоинства микропроцессорной системы:

- простота установки;
- простота настройки;
- наглядное представление информации;
- автоматическая градуировка и тарировка;
- низкая стоимость.

Достоинства компьютерной системы:

- не требуется весовой индикатор, данные выводятся на экран компьютера;
- отпадает необходимость в применении контрольного принтера, так как данные сохраняются на жёстком диске;
- возможность управления несколькими весоизмерительными устройствами одновременно.

Так как к разрабатываемому весоизмерительному устройству предъявляется требование мобильности, т.е. взвешивание железнодорожных транспортных средств должно осуществляться в любом месте железнодорожного полотна, то в качестве системы обработки информации целесообразно использовать микропроцессорную систему. Но при необходимости ведения учёта и использовании

весоизмерительного устройства в стационарных условиях возможно использование компьютерной системы. Так как в большинстве случаев программное обеспечение не предъявляет специальных требований к компьютеру, можно использовать компьютеры средней производительности, имеющиеся на предприятиях [1].

**Целью работы** является разработка структурной схемы блока управления считывающей и записывающей головками устройства для взвешивания железнодорожных транспортных средств и программного обеспечения блока обработки информации.

**Изложение основных материалов.** Возможность замены блока обработки информации накладывает условие универсальности устройства. Для этого проще всего использовать интерфейс параллельного порта, к которому подключается блок управления считывающей и записывающей головками, которые используются в качестве первичных преобразователей веса. Структурная схема устройства представлена на рис. 1.

Блок управления выдает импульсы для управления записывающей головкой и датчиками, сигналы измерительной информации, поступающие в микропроцессорную систему, и питающие напряжения.

Схема управления записывающей головкой 1 представляет собой электронный ключ, собранный на биполярном транзисторе. По сигналу с блока обработки информации (микропроцессорной системы или компьютера) транзистор открывается, и в обмотку записывающей головки поступает импульс записи. Генератор возбуждения датчика 12 предназначен для подачи импульсов тока в обмотку возбуждения датчика.

Модуль сравнения 2 предназначен для определения уровня выходного сигнала, поступающего с датчика определения напряжённости остаточной намагниченности участка рельса и преобразования его во

временный импульсный сигнал. Сигнал, снимаемый с датчика, усиливается операционным усилителем 5 и поступает на компаратор 6. В момент снятия показаний по сигналу с блока обработки запускается генератор опорных импульсов 3, который связан с компаратором 6. Сигнал с компаратора 6 поступает на блок обработки информации.

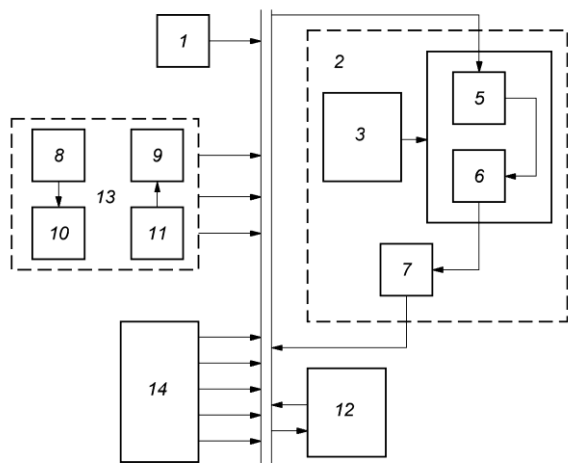


Рис. 1. Структурная схема блока управления:

- 1 – схема управления записывающей головкой;  
 2 – модуль сравнения; 3 – генератор опорных импульсов;  
 4 – устройство сравнения; 5 – операционный усилитель;  
 6 – компаратор; 7 – сумматор; 8 – передатчик;  
 9 – приёмник; 10 – светодиоды; 11 – фотодиоды;  
 12 – генератор возбуждения датчика; 13 – модуль управления датчиком подсчёта числа колёсных пар;  
 14 – блок питания

**Результаты исследований.** Определение веса транспортного средства происходит следующим образом.

1. Перед взвешиванием транспортного средства записывающей головкой намагничивается участок рельса.

2. После проезда каждой колёсной пары транспортного средства измеряется остаточная намагниченность участка рельса. Причём чем больше вес транспортного средства, тем меньше остаточная намагниченность, следовательно, меньше величина выходного сигнала.

3. Измеряется выходное напряжение датчика.

4. Величина сигнала после проезда каждой колёсной пары суммируется.

5. В зависимости от величины сигнала определяется вес транспортного средства.

При использовании компьютерной техники для дальнейшей обработки и хранения полученной информации используется программа, главное окно которой показано на рис. 2. Данные сохраняются в формате DB, который обрабатывается различными СУБД [2].

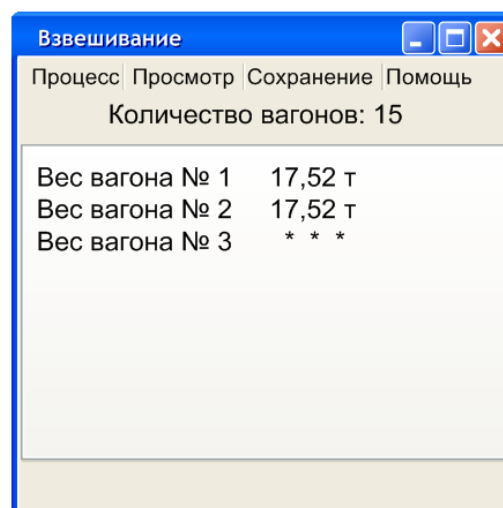


Рис. 2. Главная форма программы

**Выводы.** Устройство для динамического взвешивания железнодорожных транспортных средств может изготавливаться в двух вариантах: с микропроцессорной системой управления и компьютерной. Разработана программа для хранения и обработки данных. Полученная информация может обрабатываться в различных СУБД.

#### Л и т е р а т у р а

1. Бычков, К.В. Метрологическое обеспечение промышленности и весоизмерительной техники. Конференции ВНИИМС / К.В. Бычков // Главный метролог. – 2018. – № 5 (104). – С. 72-78.
2. Кореньков, В.В. Технологии баз данных. Проектирование реляционных баз данных / В.В. Кореньков, О.В. Иванцова, И.А. Филозова. – Москва: Курс, 2022. – 128 с.

**Silyanov V.V., Kostyuchenko D.N., Malov V.A.**  
**INFORMATION PROCESSING IN A MOBILE DEVICE FOR DYNAMIC WEIGHING OF RAILWAY VEHICLES**

*The article is devoted to the topical topic of the application of innovative approaches to solving the problem of improving the safety of rail transport. The concept of an information processing system of a mobile device for dynamic weighing of railway vehicles using the method of magnetic recording on the rail is proposed.*

**Key words:** railway transport, transportation safety, dynamic weighing, information processing.

**Сильянов Валентин Васильевич**, доктор технических наук, профессор, проректор по УМО Московского автомобильно-дорожного института.  
**E-mail:** silyanov@bk.ru

**Silyanov Valentin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for UMO of the Moscow Automobile and Road Institute.

**Костюченко Дмитрий Николаевич**, Генеральный директор ПАО «Лугансктепловоз», ЛНР.

---

**E-mail:** kostyuchenko.ltz@gmail.com

**Kostyuchenko Dmitry**, General Director of PJSC "Lugansktteplovoz", LNR.

**Малов Вячеслав Анатольевич**, кандидат технических наук, главный специалист, общество с ограниченной ответственностью «Лугамаш», ЛНР.

**E-mail:** malov.ltz@gmail.com

**Malov Vyacheslav**, Candidate of Technical Sciences, Chief Specialist, Lugamash Limited Liability Company, LNR.

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

*Статья подана 15.04.2022*

УДК 629:592:004.942

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСА МЕР ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ МЕТОДОМ SWOT-АНАЛИЗА

Сильянов В.В., Малахова В.В.

## DETERMINATION OF A SET OF MEASURES TO REDUCE THE LEVEL OF NOISE POLLUTION OF THE ENVIRONMENT BY RAILWAY ROLLING STOCK BY SWOT ANALYSIS

Silyanov V.V., Malakhova V.V.

*В статье рассматривается проблема акустического загрязнения окружающей среды. Определено множество факторов, оказывающих (или способных оказать) влияние на интенсивность шума, генерируемого подвижным составом железных дорог. Сформулирован комплекс мер по снижению акустического загрязнения окружающей среды тормозными механизмами подвижного состава с использованием метода SWOT анализа.*

**Ключевые слова:** шумовое загрязнение, идентификация факторов, стратегическое планирование мероприятий, SWOT анализ.

**Введение.** Как показывает практика, интенсивная эксплуатация транспортных систем неизбежно сопровождается многофакторным загрязнением окружающей среды [1].

Фактор акустического загрязнения окружающей среды вносит существенный вклад в интегральный фон техногенной нагрузки транспортных средств на окружающую среду. В отличие от загрязнения земли, воды, воздуха, акустическое загрязнение имеет менее выраженный, отложенный эффект негативного влияния на человека, флору и фауну окружающей природы. Но отложенный эффект не значит безвредный. Разрушительное действие акустического шума повышенной интенсивности на организм человека было рассмотрено выше [2].

**Гипотеза.** Интенсивность шумового излучения, генерируемого функционирующим подвижным составом железных дорог, определяется сочетанием положительных и отрицательных факторов, как внутренних (конструктивные особенности конкретной единицы подвижного состава), так и внешних (состояние и расположение объектов транспортных сетей и иных объектов, так или иначе связанных с эксплуатируемой транспортной инфраструктурой).

### Изложение основных материалов.

Стратегическое планирование мероприятий по снижению экологической нагрузки транспортных систем на окружающую среду производим с использованием метода SWOT анализа [3, 4].

Рассмотрим спектр факторов, оказывающих (или способных оказать) влияние на интенсивность шума, генерируемого подвижным составом железных дорог. Разобьем их на группы по следующим признакам:

- положительные (уменьшают интенсивность шума);
- отрицательные (увеличивают интенсивность генерируемого шума);
- внутренние (непосредственно связаны с особенностями конструкции и технологией изготовления деталей и узлов подвижного состава);
- внешние (напрямую не связаны с особенностями исследуемой единицы подвижного состава, но функционально способны оказать влияние на интенсивность или возможности распространения генерируемого акустического излучения).

Результаты аналитического обзора и идентификации факторов, оказывающих (или способных оказать) влияние, на интенсивность шума, генерируемого подвижным составом железных дорог, сводим в общую матрицу SWOT анализа (табл. 1), в которой учтены сильные и слабые стороны исследуемого процесса генерации акустического шума подвижным составом, возможности для его минимизации и угрозы, которые могут его интенсифицировать.

Выполняем кодирование факторов по их принадлежности какой-либо из четырех групп:

- сильные стороны внутренних факторов (Strengths): S1 .. Si;
- слабые стороны внутренних факторов (Weaknesses): W1 .. Wj;

– сильные стороны внешних факторов (Opportunities): O1 .. Ok;

– слабые стороны внешних факторов (Threats): T1 .. Tn,

где i, j, k, n – количество факторов в каждой из групп.

Формируем сводную матрицу, отражающую перечень всех возможных комбинаций рассмотренных выше факторов. Наличие либо отсутствие каждого из факторов отображается значением булевой переменной. Если фактор

присутствует, соответствующая ему булева переменная принимает значение «истина» (логическая 1). При отсутствии рассматриваемого фактора его переменная принимает значение «ложь» (логический 0). Например, наличие акустических экранов вдоль железнодорожного полотна в рассматриваемой строке сводной матрицы отображается символом «O1»; отсутствие акустических экранов вдоль железнодорожного полотна символом « $\overline{O1}$ » инверсное.

Таблица 1

| Общая матрица SWOT-анализа |                                                         |                                                          |
|----------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                            | Факторы                                                 |                                                          |
|                            | – (положительные)                                       | – (отрицательные)                                        |
| Внутренняя среда           | Сильные стороны (S)                                     | Слабые стороны (W)                                       |
|                            | S1 – шумоизоляция элементов корпуса                     | W1 – шум агрегатов (двигатель, генератор, вентиляторы)   |
|                            | S2 – балансировка тел вращения                          | W2 – вибрация элементов корпуса и ходовой части          |
|                            | S3 – гибкость буксового рессорного подвешивания тележек | W3 – несовершенство аэродинамической формы               |
|                            | S4 – глушители выхлопа                                  | W4 – шум тормозных механизмов                            |
|                            | S5 – совершенство тормозных механизмов                  | W4 – несовершенство геометрии поверхности катания колеса |
|                            | S6 – питание от контактной сети                         | W6 – шум всасывания и выхлопа                            |
| Внешняя среда              | Возможности (O)                                         | Угрозы (T)                                               |
|                            | O1 – акустические экраны вдоль ЖД полотна               | T1 – шероховатость поверхности катания рельса            |
|                            | O2 – зеленые насаждения вдоль ЖД полотна                | T2 – несовершенство геометрии головки рельса             |
|                            | O3 – вибродемпфирующие накладки на шейке рельса         | T3 – стыки рельсового полотна                            |
|                            | O4 – наличие контактной сети                            | T4 – аэродинамическое сопротивление воздуха              |
|                            |                                                         | T5 – набор скорости                                      |
|                            |                                                         | T6 – движение на высокой скорости                        |
|                            |                                                         | T7 – торможение                                          |
|                            |                                                         | T8 – близость жилых строений, городской инфраструктуры   |

Сводная матрица – перечень всех возможных комбинаций рассмотренных выше факторов:

$$\begin{aligned}
 & \left[ \begin{array}{c} S1, S2, S3, S4, S5, S6, W1, W2, W3, W4, W5, W6, \\ \overline{O1}, \overline{O2}, \overline{O3}, \overline{O4}, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 \end{array} \right] \\
 & \left[ \begin{array}{c} S1, S2, S3, S4, S5, S6, W1, W2, W3, W4, W5, W6, \\ \overline{O1}, \overline{O2}, \overline{O3}, \overline{O4}, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 \end{array} \right] \\
 & \dots\dots\dots \\
 & \left[ \begin{array}{c} S1, S2, S3, S4, S5, S6, W1, W2, W3, W4, W5, W6, \\ O1, O2, O3, O4, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

Общее количество строк (количество возможных вариантов сочетаний факторов) составит:

$$\begin{aligned}
 N &= 2^i \cdot 2^j \cdot 2^k \cdot 2^n = 2^6 \cdot 2^6 \cdot 2^4 \cdot 2^8 = 2^{24} = \\
 &= 16777216 \text{ (б/п)}.
 \end{aligned}$$

Следующим этапом проведения SWOT-анализа производим прореживание (уменьшение количества строк) сводной матрицы, отбрасывая сочетания переменных взаимоисключающих факторов. Например:

S6,  $\overline{O4}$  – эксплуатация электровоза на неэлектрифицированной линии железной дороги.

Исключаем сочетания переменных, каждая из которых оказывает свое благоприятное или негативное влияние на производимое подвижным составом акустическое загрязнение окружающей среды, но никак не связаны между собой. Например:

S2, T1 – балансировка тел вращения привода подвижного состава на линии с высокой шероховатостью поверхности катания рельса. Каждый из указанных факторов, несомненно, оказывает влияние на уровень акустического шума, производимого движущимся поездом, но нет видимой корреляции между указанными факторами, они существуют независимо друг от друга, не взаимосвязаны. Особое внимание уделяем сочетаниям факторов, наличие либо отсутствие которых в сочетании друг с другом, существенно усиливают или ослабляют интенсивность

загрязнения окружающей среды акустическим шумовым излучением.

На основании проведенного анализа всех возможных сочетаний факторов, приводящих к увеличению либо уменьшению акустического загрязнения окружающей среды подвижным составом железных дорог (рис. 1) можно представить в виде:

$$M = \{\overline{S5}, W4, \overline{O1}, \overline{O2}, T7, T8\}. \quad (1)$$



Рис. 1. Морфологическая модель управления шумообразованием тормозных механизмов подвижного состава

**Выводы.** Анализ морфологической модели управления шумообразованием тормозных механизмов подвижного состава (1) позволяет сформулировать комплекс мер по снижению акустического загрязнения окружающей среды тормозными механизмами подвижного состава:

1. Шум тормозных механизмов проявляется только в режиме торможения подвижного состава как нежелательный побочный эффект преобразования кинетической энергии движущейся массы подвижного состава в тепловую энергию элементов фрикционного тормозного механизма (обод колеса колесной пары, тормозные колодки).

2. Интенсивность шумообразования при торможении подвижного состава связана с интенсивностью процесса торможения и конструктивными особенностями тормозного механизма.

3. Такие меры конструктивного и технологического совершенствования подвижного состава, как S1 – шумоизоляция элементов корпуса; S2 – балансировка тел вращения; S3 – гибкость буксового рессорного подвешивания тележек; S4 – глушители выхлопа отработанных газов; S6 – тягового электродвигателя от контактной сети, как и внешние факторы: O3 – вибродемпфирующие накладки на шейке рельса и др., существенного влияния на шумообразование в тормозных механизмах при торможении подвижного состава связана не оказывают.

4. Близость к линии железнодорожных путей жилых строений и иной городской архитектуры при отсутствии акустических экранов и (или) зеленых насаждений вдоль ЖД полотна усиливает негативное влияние акустического загрязнения на окружающую среду. Это определяет

географический ареал эксплуатации железнодорожного транспорта, в котором задача снижения интенсивности шумообразования при работе тормозных механизмов является наиболее актуальной: железнодорожные станции, вокзалы, расположенные в черте городской застройки.

### Л и т е р а т у р а

1. Гончаренко Б.И. Акустическое загрязнение городских территорий железнодорожным транспортом / Б.И. Гончаренко // Мир измерений. – 2010. – № 4. – С. 6-13.
2. Васильев А.В. Шумовая безопасность урбанизированных территорий // Проблемы экологии. – Тольяттинский государственный университет, 2014. – Тольятти. – С. 299-305.
3. Воробинская Л.И. Особенности оценки и управления профессиональными рисками / Л.И. Воробинская, В.А. Финченко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 11. – С. 253-259.
4. Кизка Н.Д. Модель углубленного SWOT-анализа model depth SWOT – analysis / Н. Д. Кизка, А. В. Янгиров // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 3. – С. 109-115.

Silyanov V.V., Malakhova V.V.

### DETERMINATION OF A SET OF MEASURES TO REDUCE THE LEVEL OF NOISE POLLUTION OF THE ENVIRONMENT BY RAILWAY ROLLING STOCK BY SWOT ANALYSIS

*The article deals with the problem of acoustic pollution of the environment. Many factors that have (or can have) an impact on the intensity of noise generated by railway rolling stock have been determined. A set of measures to reduce acoustic pollution of the environment by braking mechanisms of rolling stock using the SWOT analysis method is formulated.*

**Key words:** noise pollution, identification of factors, strategic planning of events, SWOT analysis.

**Сильянов Валентин Васильевич**, доктор технических наук, профессор, проректор по УМО Московского автомобильно-дорожного института.  
E-mail: silyanov@bk.ru

**Silyanov Valentin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for UMO of the Moscow Automobile and Road Institute.

**Малахова Виктория Владимировна**, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
E-mail: malakhova\_viktoriya84@mail.ru

**Malakhova Viktoriya**, senior lecturer of the «Transport Technologies» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

Статья подана 06.05.2022

УДК 629.113.004

## К ВОПРОСУ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВПРЫСКА БЕНЗИНА

Сметана С.А., Сидорченко А.В.

## TO THE QUESTION OF SERVICE MAINTENANCE ELECTROMAGNETIC INJECTORS DISTRIBUTED GASOLINE INJECTION

Smetana S.A., Sidorchenko A.V.

*Изложены результаты экспериментальных исследований направленных на выбор и оптимизацию следующих режимов: контроля технического состояния электромагнитных форсунок впрыска; очистки внутренних полостей форсунок от отложений.*

**Ключевые слова:** эксперимент, электромагнитная форсунка, впрыск, параметр.

**Введение.** С момента создания первых двигателей внутреннего сгорания непрерывно велись научные изыскания, направленные на улучшение их эксплуатационных качеств. На современном этапе развития транспортных ДВС, проблемы повышения топливной экономичности и снижения токсичности отработавших газов становятся все более актуальными.

Существующая мировая тенденция повышения цен на топливо и ужесточение норм на выбросы вредных веществ, вынудили разработчиков пойти на некоторое удорожание систем питания двигателя. Благодаря этому, получили широкое распространение разнообразные системы впрыска топлива, наиболее современные из которых, представляют собой систему управления двигателем (ЭСАУД) на базе микро ЭВМ [1, 3].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Электронный блок управления (ЭБУ) данных систем, для получения оптимального состава горючей смеси в зависимости от режима работы двигателя, на основании сигналов датчиков, рассчитывает количество впрыскиваемого топлива как функцию времени открытия электромагнитной форсунки, при условии, что давление в системе  $P_c = const$ .

На практике, в большинстве случаев, впрыск топлива осуществляется синхронно – на один оборот коленчатого вала двигателя приходится один впрыск дозы топлива. Но во время ускорения автомобиля для повышения мощности двигателя наряду с синхронным, осуществляется асинхронный впрыск.

Время синхронного впрыска рассчитывается по формуле [2]:

$$T_c = T_o \sum K + T_{шт}, \quad (1)$$

где  $T_c$  – время синхронного впрыска, с;

$T_o$  – основное время впрыска, с;

$\sum K$  – суммарный коэффициент коррекции;

$T_{шт}$  – поправка времени впрыска на напряжение питания, с.

Электромагнитные форсунки применяются как в системах распределенного, так и одноточечного (центрального) впрыска. Форсунка для распределенного впрыска состоит (рис. 1) из корпуса содержащего фильтр, электрический разъем, катушку электромагнита и сердечника, жестко соединенного с иглой, прижатой к гнезду при помощи винтовой пружины. Электромагнитное поле создаваемое катушкой электромагнита и возбуждаемое периодическими импульсами тока, посылаемыми ЭБУ, поднимает запорную иглу, преодолевая при этом сопротивление возвратной пружины. Таким образом, топливо, находящееся в полости форсунки, врыскивается в миксерную зону впускного коллектора [3].



Рис. 1. Разрез форсунки распределенного впрыска

Возможные неисправности любой из систем впрыска, вызванные нарушением работы электромагнитных форсунок (форсунки), обычно сходны: двигатель не запускается или запуск затруднен; двигатель запускается и глохнет; двигатель работает неустойчиво на холостом ходу; в



Далее производились измерения следующих параметров и характеристик в такой последовательности: омическое сопротивление обмотки управления электромагнитной форсунки по постоянному току  $R_a^-$  (Ом); минимальное напряжение срабатывания электромагнитной форсунки по постоянному току  $U_{min}^-$  (В); максимальное напряжение отпущения электромагнитной форсунки по постоянному току  $U_{max}^-$  (В); индуктивность обмотки управления электромагнитной форсунки при отпущенном якоря  $L_{отпуц}^-$  (Гн); индуктивность обмотки управления электромагнитной форсунки при утопленном (притянута) якоря  $L_{притян}^-$  (Гн); токо-частотная характеристика; граничная характеристика (сухая); характеристика срабатывания; эксплуатационная характеристика № 1; эксплуатационная характеристика № 2.

«Токо-частотная характеристика» электромагнитной форсунки  $I = f(f_{упр})$ ,  $U_{упр} = const$  есть зависимость величины тока через обмотку управления электромагнитной форсунки от частоты управляющих прямоугольных импульсов при постоянной величине управляющего напряжения и скважности управляющих импульсов равной 2 (рис. 3).

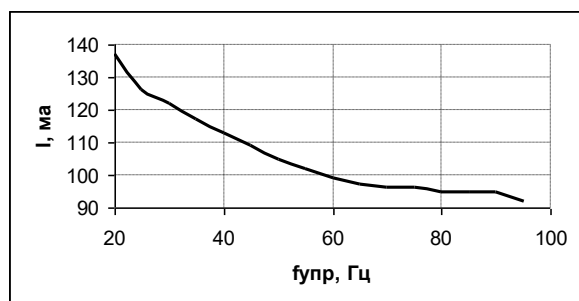


Рис. 3. Усредненная токо-частотная характеристика электромагнитных форсунок «Denso-A2B-9510736»

Характеристика позволяет выявить влияние высших гармоник управляющего напряжения на реактивное сопротивление обмотки управления электромагнитной форсунки при управлении прямоугольными импульсами.

Характеристика снимается при следующих условиях: рабочий агент в канале форсунки отсутствует; величина управляющего напряжения 5 В; форма управляющего напряжения прямоугольная (меандр); диапазон изменения частоты управляющих импульсов  $f_{упр}$ : от 0 до  $1,1f'_{max}$ .

Здесь  $f'_{max}$  — значение частоты управляющих импульсов, при которой уже не наблюдается полного хода якоря электромагнитной форсунки.

Для оценки влияния высших гармоник

управляющего напряжения на реактивное сопротивление обмотки управления произведен расчет рабочего тока для экспериментальных значений частот при усредненном значении индуктивности

$$I_{расч} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (2\pi f L)^2}} = 323ma, \quad (2)$$

где  $L = (L_{притян}^- + L_{отпуц}^-) / 2$ .

«Граничная характеристика (сухая)» электромагнитной форсунки  $f_{max} = f(U_{упр})$  есть зависимость максимальной частоты срабатывания электромагнитной форсунки (полный ход якоря) от величины управляющего напряжения прямоугольной формы со скважностью управляющих импульсов равной 2 (меандр) при отсутствии рабочего агента в канале форсунки (рис. 4).

Характеристика позволяет выявить динамический диапазон электромагнитной форсунки при различных величинах управляющего напряжения.

Характеристика снимается при следующих условиях: рабочий агент в канале форсунки отсутствует; форма управляющего напряжения прямоугольная, меандр; диапазон изменения величины управляющего напряжения  $U_{упр}$ : от  $U_{min}^-$  до 20 В; шаг изменения 0,5 В.

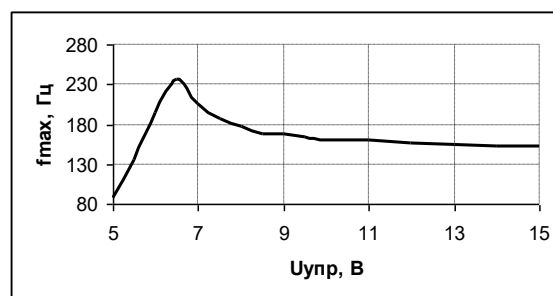


Рис. 4. Граничная характеристика электромагнитных форсунок «Denso-A2B-9510736»

«Характеристика срабатывания» электромагнитной форсунки  $U_{min} = f(f_{упр})$  есть зависимость минимальной величины управляющего напряжения, при котором происходит срабатывание электромагнитной форсунки от частоты управляющих прямоугольных импульсов при скважности управляющих импульсов равной 2 (рис. 5).

Здесь  $f''_{max}$  — значение частоты управляющих импульсов, при которой уже не наблюдается звуковых колебаний, создаваемых якорем электромагнитной форсунки.

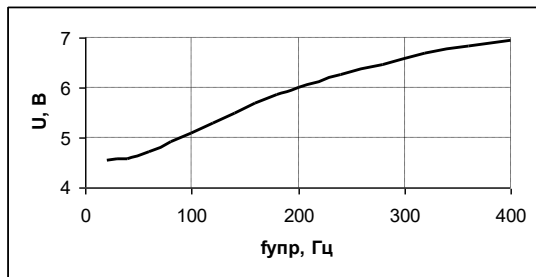


Рис. 5. Характеристика срабатывания электромагнитных форсунок «Denso-A2B-9510736»

Характеристика позволяет определить нижнюю границу диапазона управляющего напряжения при управлении прямоугольными импульсами.

Характеристика снимается при следующих условиях: рабочий агент в канале форсунки отсутствует; форма управляющего напряжения прямоугольная, меандр; диапазон изменения частоты управляющих импульсов  $f_{упр}$ : от 0 до  $f_{max}''$ .

«Эксплуатационная характеристика № 1» электромагнитной форсунки  $f_{max} = f(K)$ ,  $U_{упр} = const$  есть зависимость максимальной частоты срабатывания электромагнитной форсунки (полный ход) от скважности управляющих прямоугольных импульсов при постоянной величине управляющего напряжения (рис. 6).

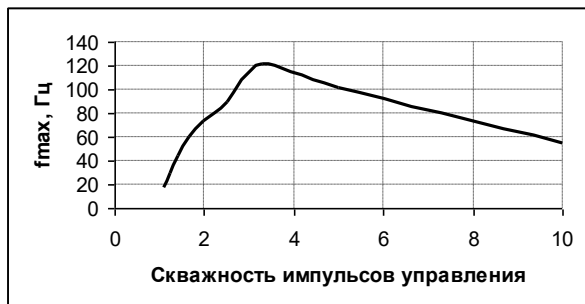


Рис. 6. Эксплуатационная характеристика № 1 электромагнитных форсунок «Denso-A2B-9510736»

Характеристика позволяет определить влияние частотно-временных параметров управляющего напряжения на динамический диапазон электромагнитной форсунки при управлении прямоугольными импульсами.

Характеристика снимается при следующих условиях: рабочий агент в канале форсунки отсутствует; величина управляющего напряжения 5 В; форма управляющего напряжения прямоугольная; диапазон изменения скважности управляющих импульсов  $K$ : от 10 до 1,1.

«Эксплуатационная характеристика № 2» электромагнитной форсунки  $f_{max} = f(U_{упр})$  есть зависимость максимальной частоты срабатывания электромагнитной форсунки (полный ход якоря) от величины управляющего напряжения

прямоугольной формы при скважности управляющих импульсов равной 2 (меандр) и воздействии на якорь давления рабочего агента в канале электромагнитной форсунки (рис. 7).

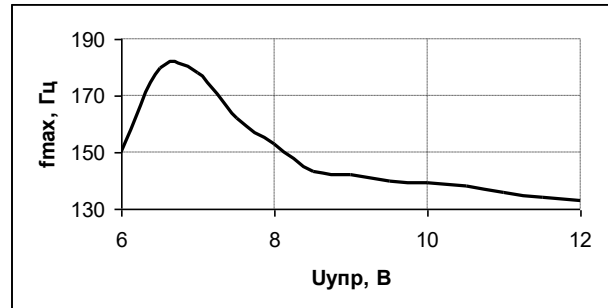


Рис. 7. Эксплуатационная характеристика № 2 электромагнитных форсунок «Denso-A2B-9510736»

Характеристика позволяет выявить влияние давления рабочего агента в канале электромагнитной форсунки на ее динамический диапазон при различных величинах управляющего напряжения.

Характеристика снимается при следующих условиях: давление рабочего агента в канале форсунки 0,02 МПа. и 0,07 МПа.; форма управляющего напряжения прямоугольная, меандр; диапазон изменения величины управляющего напряжения  $U_{упр}$ : от  $U_{min}^-$  до 20 В с шагом 0,5 В.

**Выводы.** Результаты экспериментальных исследований использованы при разработке конструкции и программного обеспечения модификации стенда для проверки и очистки форсунок «Спрут-форсаж» ЗАО ПО «Энергия».

#### Л и т е р а т у р а

1. Росс Твег. Системы впрыска бензина. – М.: За рулем, 1997. – 220 с.
2. Х. Сига, С. Мидзутани. Введение в автомобильную электронику: Пер. с японск. – М.: Мир, 1989. – 232 с.
3. Соснин Д.А. Автотроника. Учебное пособие. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 272 с.
4. «Injection system purge» Winn's oil company (номер патента PN-76603).
5. Протокол натурных и стендовых испытаний электромагнитных форсунок впрыска бензина СОФ002.000.001.НИ.

#### Smetana S.A., Sidorchenko A.V. ON THE ISSUE OF MAINTENANCE OF ELECTROMAGNETIC INJECTORS OF DISTRIBUTED GASOLINE INJECTION

The results of experimental studies aimed at selecting and optimizing the following modes are presented: monitoring the technical condition of electromagnetic injection nozzles; cleaning the internal cavities of the nozzles from deposits.

**Key words:** experiment, electromagnetic nozzle, injection, parameter.

---

**Сметана Сергей Александрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**Smetana Sergey**, Cand. tech. Sciences, Assoc. Department "Car transport" of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Сидорченко Александр Владимирович**, магистр, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**Sidorchenko Alexander**, Master, Senior Lecturer of the Department "Car transport", of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Замота Тарас Николаевич**, д-р техн. наук, доц., заведующий кафедрой автомобильный транспорт ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 12.03.2022*

УДК 629.039.58

## ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Тарарычкин И.А., Анисимов В.Н.

## CAUSES OF ORIGIN AND FEATURES OF DEVELOPMENT ACCIDENTS AT PIPELINE TRANSPORT FACILITIES

Tararychkin I.A., Anisimov V.N.

*Рассмотрены особенности функционирования систем трубопроводного транспорта. Определены категории опасных производственных объектов, дана их классификация по степени потенциальной опасности. Приведены данные по аварийности и смертельному травматизму в 2020 году по всем опасным производственным объектам России, в том числе по отдельным отраслям промышленности и объектам, эксплуатация которых связана с использованием трубопроводного транспорта. Проанализированы технические и организационные причины возникновения аварийных ситуаций на основе анализа обстоятельств возникновения инициализирующих событий. Приведены примеры техногенных событий с указанием соответствующих причинных групп. Показана актуальность проблемы безопасного функционирования объектов трубопроводного транспорта и предотвращения возникновения аварий.*

**Ключевые слова:** трубопроводный транспорт, опасные объекты, аварии, техногенные события, причинные группы.

Системы трубопроводного транспорта применяют в различных отраслях промышленного производства, а также в сфере обеспечения жизнедеятельности населения городов и территорий. Они представляют собой сложные инженерно-технические объекты с большим количеством взаимодействующих структурных элементов, возможных состояний и одновременно протекающих процессов.

Функционирование систем трубопроводного транспорта связано с наличием ряда особенностей, которые необходимо учитывать при решении задач доставки потребителям целевого продукта. Так, регулирование внутреннего давления на отдельных участках системы позволяет управлять транспортными потоками и технологическим оборудованием в режиме реального времени. Во многих случаях доставка продукта потребителям происходит круглосуточно, что позволяет рассматривать такие объекты, как системы непрерывного транспорта.

В процессе доставки целевой продукт изолирован от окружающей среды, что не только исключает возможные потери, связанные с испарением, утечками или разливами, но и создает благоприятные условия для безопасного функционирования всей системы.

В то же время следует иметь в виду, что любая хозяйственная деятельность, связанная с использованием потенциально опасных технических объектов и систем создает реальные риски нештатных ситуаций.

В соответствии с данными [1] более 20 млн человек осуществляют хозяйственную деятельность на территориях РФ, находящихся под угрозой землетрясения магнитудой 7,0 и выше. В зонах возможного воздействия поражающих факторов потенциально опасных производственных объектов проживает более 90 млн человек.

Периодически возникающие аварии на объектах тепло- и водоснабжения территорий сопровождаются не только материальными издержками, но и создают социальное напряжение в обществе. По данным [1], годовой экономический ущерб от чрезвычайных ситуаций в РФ достигает примерно 2% ВВП.

К категории опасных производственных объектов (ОПО) в соответствии с [2] относятся предприятия, участки, площади, а также иные производственные структуры, на которых получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, токсичные или высокотоксичные вещества. ОПО подразделяются на 4 класса в зависимости от уровня потенциальной опасности. Системы трубопроводного транспорта с учётом специфики их функционирования и целевого назначения могут быть отнесены к любому классу опасности.

Проблема контроля и оценки состояния ОПО, имеющих в своём составе трубопроводные системы,

особенно актуальна для предприятий таких отраслей промышленности:

- нефтегазодобывающая;
- нефтехимическая
- и нефтегазоперерабатывающая;
- нефтепродуктообеспечение;
- магистральный трубопроводный транспорт и объекты подземного хранения газа;
- газораспределение и газопотребление;
- химический комплекс (ХОПО);
- объекты, использующее оборудование, работающее под давлением.

Трубопроводные системы опасных производственных объектов перечисленных отраслей промышленности представляют потенциальную опасность, а их эксплуатация сопровождается возникновением рисков для потребителей, окружающей среды и обслуживающего персонала.

Поскольку, несмотря на значительные усилия государственных органов и многочисленных специалистов, работающих в области промышленной безопасности, на опасных производственных объектах по-прежнему происходят многочисленные инциденты, сопровождающиеся человеческими жертвами, загрязнением окружающей среды и значительными материальными издержками, то проблема обеспечения их безопасного функционирования является актуальной и имеет общегосударственное значение.

Данные по аварийности и смертельному травматизму в 2020 году по всем ОПО, в том числе по отдельным отраслям промышленности и опасным производственным объектам, эксплуатация которых связана с использованием трубопроводного транспорта, приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Аварийность и смертельный травматизм на опасных производственных объектах РФ в 2020 году [3]**

| № п/п | Опасные производственные объекты                                                                    | Количество ОПО | Количество аварий | Смертельно травмировано | Сумма ущерба, млн руб. |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------------|
| 1     | 2                                                                                                   | 3              | 8                 | 9                       | 10                     |
| 1     | Всего:                                                                                              | 1481311        | 127               | 154                     | 7034,9                 |
| 2     | ОПО с трубопроводными системами, в том числе:                                                       | 139744         | 58                | 26                      | 6123,3                 |
| 2.1   | – объекты нефтегазодобывающей промышленности                                                        | 8687           | 10                | 8                       | 143,9                  |
| 2.2   | – объекты нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности и объекты нефтепродуктообеспечения | 4114           | 9                 | 2                       | 5466,0                 |
| 1.3   | – объекты магистрального трубопроводного транспорта и подземного хранения газа                      | 4731           | 11                | 3                       | 489,8                  |
| 2.4   | – объекты газораспределения и газопотребления                                                       | 64228          | 14                | 3                       | 21,7                   |
| 2.5   | – производства и объекты химического комплекса (ХОПО)                                               | 5594           | 8                 | 3                       | 1,9                    |
| 2.6   | – объекты, на которых используется оборудование, работающее под давлением                           | 52390          | 6                 | 7                       | –                      |

Объектом исследования в настоящей работе является процесс возникновения аварий на опасных производственных объектах, использующих системы трубопроводного транспорта.

Целью работы является уточнение представлений о причинах возникновения аварийных ситуаций на основе анализа обстоятельств возникновения инициализирующих событий.

Причины аварий, произошедших на ОПО России в 2020 году, условно разделяют на организационные и технические. Организационные причины в основном связаны с действиями персонала (т.н. "человеческий фактор"). Они могут быть ошибочными, несвоевременными или неадекватными. Полностью исключить ошибки в управлении сложными техническими системами невозможно.

К действиям персонала, способным создать условия для возникновения аварийных и нештатных ситуаций, можно отнести:

- несанкционированное внесение изменений в используемый технологический процесс;
- грубое нарушение технологии ремонтных или строительно-монтажных работ;
- отсутствие должного мониторинга состояния трубопроводов и систем;
- выполнение работ без оформления необходимого наряда-допуска;
- отсутствие у исполнителей работ аттестации в области промышленной безопасности;
- использование технологического оборудования с истёкшим сроком службы без проведения экспертизы промышленной безопасности;
- ошибочные заключения специалистов по результатам экспертизы промышленной безопасности;
- отсутствие должного контроля за порядком проведения работ на территории объекта сторонними организациями;
- отсутствие должного финансирования;
- административные просчёты;

– дефицит квалифицированных кадров;  
– злонамеренные действия (хищения, вандализм, диверсии).

Технические причины аварий, как правило, связаны с текущим состоянием используемых систем и механизмов. Их перечень весьма разнообразен, но к характерным причинам можно отнести следующие:

– коррозионные повреждения различного вида;  
– образование и развитие усталостных трещин, прежде всего вблизи концентраторов напряжений;  
– запредельные внешние силовые воздействия;  
– периодически возникающие гидро (пнеumo) удары в условиях отсутствия эффективных средств защиты;  
– вынужденные механические колебания трубопроводов или других элементов системы с возможным переходом в состояние резонанса.

Во многих случаях аварии происходят во время или после выполнения ремонтов, проведения реконструкции трубопроводных систем, в момент запуска в эксплуатацию восстановленных участков или же после подключения к системе новых потребителей.

При этом ситуация с аварийностью систем трубопроводного транспорта усугубляется из-за:

– изношенности основных производственных фондов;  
– наличия отработавшего установленный (расчётный) срок эксплуатации оборудования;  
– некачественных или в неполном объёме выполненных ремонтных работ;  
– ошибочных действий персонала, выполняющего ремонт, контроль состояния оборудования и запуск его в эксплуатацию.

Кроме того, многократное восстановление работоспособности трубопроводов с применением сварочных технологий сопровождается постепенным накоплением в транспортной системе участков с несоответствиями и изменёнными механическими свойствами. В дальнейшем это может привести к внезапным отказам и возникновению разного рода нештатных ситуаций.

Возникновение конкретного техногенного события обычно не связано с наличием какой-либо одной причины. При анализе причин аварий и выявлении причинно-следственных связей особое внимание следует уделять обстоятельствам. Именно стечением неблагоприятных обстоятельств объясняется появление инициализирующего события, дальнейшее развитие которого приводит к тяжёлым последствиям.

Выявление указанных обстоятельств при расследовании аварийных ситуаций позволяет составить объективное представление как относительно причин их возникновения, так и относительно особенностей развития.

В этой связи при проведении дальнейшего анализа обстоятельства возникновения аварий следует разделить на условные группы. Такого рода разграничение на отдельные причинные группы целесообразно выполнять с учётом совокупности исходных причин, а также времени возникновения инициализирующего события.

С учетом отмеченных ранее особенностей возникновения техногенных событий в табл. 2 представлена схема разграничения совокупности технических причин на отдельные группы с условными обозначениями TEC1, ... TEC6.

Таблица 2

**Разграничение причин техногенных событий на отдельные группы с учетом особенностей их возникновения**

| Причинная группа событий | Момент наступления события                                                                                               | Технические причины возникновения события                                                                       |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TEC1                     | Во время подготовки или проведения ремонта на участках, предварительно отключенных от действующей трубопроводной системы | Не регламентированы                                                                                             |
| TEC2                     | После окончания ремонта при подключении или запуске в эксплуатацию восстановленного участка (оборудования)               | Низкое качество ремонта                                                                                         |
| TEC3                     | Случайный, в результате неблагоприятного стечения обстоятельств                                                          | Сочетание накопленных в процессе длительной эксплуатации повреждений и случайных внешних факторов (воздействий) |
| TEC4                     | Случайный, в результате неблагоприятного стечения обстоятельств                                                          | Отказ средств автоматической защиты, блокировки или управления                                                  |
| TEC5                     | Случайный, в результате неблагоприятного стечения обстоятельств                                                          | Перегрузка рабочих элементов системы с их дальнейшим повреждением, отказом или внезапным разрушением            |
| TEC6                     | Не регламентирован                                                                                                       | Прочие причины                                                                                                  |

Аналогичным образом совокупность организационных причин, связанных с возникновением техногенных событий, следует разделить на отдельные группы. Схема такого

разграничения с учетом момента наступления инициализирующего события представлена в табл. 3.

Таблица 3

## Разграничение причин техногенных событий на отдельные группы с учетом особенностей их возникновения

| Причинная группа событий | Момент наступления события                                                                                               | Организационные причины возникновения события                                                                                     |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ORG1                     | Во время подготовки или проведения ремонта на участках, предварительно отключенных от действующей трубопроводной системы | Не регламентированы                                                                                                               |
| ORG2                     | После окончания ремонта при попытке подключения или запуска в эксплуатацию восстановленного оборудования                 | Нарушение технологии выполнения ремонтных работ или требований по безопасности при подключении восстановленного оборудования      |
| ORG3                     | Случайный, в результате неблагоприятного стечения обстоятельств                                                          | Отсутствие в технической документации важных положений (требований) или же полное отсутствие необходимой нормативной документации |
| ORG4                     | Случайный, в результате неблагоприятного стечения обстоятельств                                                          | Нарушение требований по безопасной эксплуатации объекта или по безопасности работ                                                 |
| ORG5                     | Случайный, в результате неблагоприятного стечения обстоятельств                                                          | Недостаточный уровень квалификации персонала, отсутствие допуска или низкое качество выполнения работ                             |
| ORG6                     | Случайный, в результате неблагоприятного стечения обстоятельств                                                          | Выполнение работ в условиях отсутствия обязательной экспертизы промышленной безопасности                                          |
| ORG7                     | Случайный, в результате неблагоприятного стечения обстоятельств                                                          | Выполнение работ на объекте с отключенными системами безопасности или неудовлетворительным производственным контролем             |
| ORG8                     | Случайный, в результате неблагоприятного стечения обстоятельств                                                          | Несанкционированные действия персонала или нарушение требований по охране труда                                                   |
| ORG9                     | Не регламентирован                                                                                                       | Прочие причины                                                                                                                    |

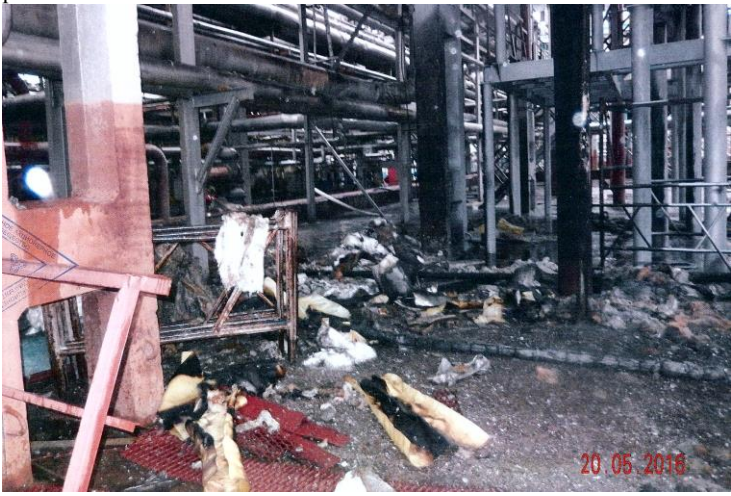
Примеры техногенных событий с установленными причинными группами по данным [4-8] приведены в табл. 4.

Таблица 4

## Примеры техногенных событий, с установленными причинными группами

| Характеристика объекта и краткое описание технических причин возникновения аварии                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Причинные группы, дата, место и последствия аварии                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>При проведении испытания колонны на герметичность после проведения капитального ремонта произошел взрыв внутри колонны с разрушением её корпуса и смещением верхней части корпуса колонны относительно места её установки.</p> <p>Технические причины аварии:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Взрыв произошел в результате образования взрывоопасной смеси паров углеводородов с кислородом воздуха, попавшей в колонну из оборудования технологически с ней связанного и не отсеченного заглушками.</li> <li>2. Источником взрыва явилась искра от соприкосновения металлического гаечного ключа, находящегося в кубовой части колонны в момент аварии</li> </ol> | <p>Причинные группы: TEC1, TEC6, ORG2.<br/>Дата происшествия: 02.11.2017.</p> <p>Место аварии: Отделение узла предварительной ректификации производства углеводородного сырья. Наименование организации: ПАО «Нижнекамскнефтехим».</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повреждены технические устройства, здания и сооружения, расположенные вблизи места аварии, разрушены объекты инфраструктуры.</li> <li>2. Пострадавших нет.</li> <li>3. Экономический ущерб от аварии 113,9 млн руб.</li> </ol>  |

Продолжение табл. 4

| Характеристика объекта и краткое описание технических причин возникновения аварии                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Причинные группы, дата, место и последствия аварии                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>В цехе очистки изопентан-изопреновой фракции, бутадиена, стирола, приготовления шихты и катализатора завода СК при вводе емкости в работу после проведения работ, связанных с её реконструкцией (врезка в верхней и нижней части дополнительных штуцеров и монтажа к ним участков трубопровода), из спускника вновь смонтированного участка трубопровода произошла утечка изопентан-изопреновой фракции с последующим её воспламенением.</p> <p>Технические причины аварии:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Необеспечение герметичности арматуры на смонтированном участке трубопровода в нижней части емкости.</li> <li>2. Наличие источников зажигания внутри каре емкости парка (не произведено отключение сварочного поста), приведшего к возгоранию горючей среды</li> </ol> | <p>Причинные группы: TEC2, ORG2, ORG7.<br/>Дата происшествия: 20.05.2016.<br/>Место аварии: Площадка производства синтетического каучука и нефтеполимерных смол.<br/>Наименование организации:<br/>ПАО «Нижнекамскнефтехим».</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повреждены эстакада, бетонные конструкции опор, оборудование, приборы КИПиА, кабели, тепловая изоляция оборудования, попавшие в зону термического воздействия.</li> <li>2. Смертельно пострадали 2 человека из числа производственного персонала</li> </ol>  |
| <p>На установке гидрокрекинга, находившейся на нормальном технологическом режиме, был обнаружен пропуск на входном коллекторе потока «А» аппарата воздушного охлаждения. При проведении операций по остановке потока «А» произошло два взрыва с интервалом в пять минут.</p> <p>Технические причины аварии:</p> <p>Разгерметизация теплообменных трубок входного коллектора секции аппарата воздушного охлаждения, вследствие коррозионно-эрозионного износа, повлекшая за собой потерю устойчивости конструкции аппарата и разрушение коллектора, с выбросом парогазовой фазы продуктов реакции в смеси с водородсодержащим газом, её воспламенением и последующим взрывом.</p>                                                                                                                   | <p>Причинные группы: TEC3, ORG3, ORG6, ORG7.<br/>Дата происшествия: 16.07.2016.<br/>Место аварии: установка гидрокрекинга газокаталитического производства.<br/>Наименование организации: филиал ПАО АНК «Башнефть» «Башнефть-Уфанефтехим».</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повреждены оборудование, конструкции зданий, сооружений.</li> <li>2. Пострадали 8 человек, из них 6 работников получили смертельные травмы.</li> <li>3. Экономический ущерб 14,5 млрд рублей</li> </ol>                                      |

Продолжение табл. 4

| Характеристика объекта и краткое описание технических причин возникновения аварии                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Причинные группы, дата, место и последствия аварии                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>При переводе печи пиролиза с газообразного сырья на бензин в отделении компримирования, очистки и осушки пирогаза произошло разрушение аппарата (факельной емкости) с мгновенным выбросом этан-этилена, образованием пожаровзрывоопасной смеси и последующим её взрывом, сопровождающееся факельным горением углеводородов, испаряющихся из разгерметизированных участков трубопроводов обвязки аппарата.</p> <p>Технические причины аварии:</p> <p>Снижение прочностных характеристик материала корпуса аппарата из-за его переохлаждения до параметров ниже критических (ниже <math>-60^{\circ}\text{C}</math>) вследствие нерегламентированного вывода жидкого этан-этилена из куба колонн в коллектор факельных газов низких температур через неработоспособный теплообменник в аппарат</p> | <p>Причинные группы: TEC5, ORG3, ORG4, ORG7.<br/>Дата происшествия: 25.01.2021.<br/>Место аварии: Производство пиролиза углеводородов нефти, очистки компримирования и разделения пирогаза<br/>Наименование организации:<br/>ПАО «Уфаоргсинтез»</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разрушены и повреждены производственное здание, технологическое оборудование и трубопроводы, подъемные сооружения.</li> <li>2. Пострадало 2 человека, получившие термические ожоги различной степени тяжести, из них 1 смертельно травмирован.</li> <li>3. Экономический ущерб от аварии составил 965,2 млн рублей</li> </ol>                                                                                           |
| <p>В результате проведения несогласованных земляных работ по отводу дождевых вод вдоль автомобильной дороги Р-217 «Кавказ» организацией ДРСУ №1 (филиал ООО «Дорснаб») ковшом экскаватора был поврежден стальной газопровод высокого давления, эксплуатируемый АО «Газпром газораспределение Черкесск», что привело к выбросу природного газа в атмосферу без последующего возгорания.</p> <p>Технические причины аварии:</p> <p>Повреждение газопровода произошло в результате механического воздействия рабочего органа (ковша) экскаватора на стальной распределительный газопровод</p>                                                                                                                                                                                                         | <p>Причинные группы: TEC6, ORG9.<br/>Дата происшествия: 21.04.2021.<br/>Место аварии: Подземный стальной межпоселковый распределительный газопровод высокого давления II категории (0,6 МПа) Дн114 (от АГРС «Адыге-Хабиль» до ГРП № 1 с. Садовое. Непосредственное место повреждения газопровода вблизи автодороги М-29 «Кавказ».<br/>Наименование организации:<br/>АО «Газпром газораспределение Черкесск»</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Пострадавших нет.</li> <li>2. Без газа осталось 414 абонентов (из них 410 абонентов частные жилые дома, общеобразовательная школа и 3 объекта коммунально-бытового назначения).</li> <li>3. Экономический ущерб от аварии составил 221408 руб.</li> </ol>  |

Следует также иметь в виду, что выявление всех обстоятельств аварии при проведении расследования представляет собой сложную задачу, а установленные причины могут быть отнесены к различным причинным группам.

Видно, что одной технической могут соответствовать несколько организационных причин. Это означает, что для предотвращения возможного возникновения аварий предприятию следует прежде всего уделить особое внимание организационным проблемам, соблюдению требований охраны труда и требований по безопасной эксплуатации технологических объектов.

**Выводы.** 1. Проблема безопасного функционирования и предотвращения возникновения аварий на объектах трубопроводного транспорта является актуальной и требует проведения дальнейших исследований.

2. Существующие методы анализа аварийности и смертельного травматизма на ОПО недостаточно полно характеризуют причины возникновения аварийных ситуаций, что, в свою очередь, затрудняет разработку эффективных мероприятий по предупреждению аварий.

3. Анализ причин возникновения аварий необходимо выполнять на основе учёта всех сложившихся обстоятельств.

### Л и т е р а т у р а

1. О Федеральной целевой программе «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 г.»: постановление Правительства Рос. Федерации от 07.07.2011 № 555 // Собрание законодательства РФ. 2011. № 30 (ч. I-II). Раздел IV. Ст. 4633.

<https://docs.cntd.ru/document/902291695>

[https://www.szrf.ru/szrf/docslist.php?md=0&nb=100&year=&issid=1002011030000&div\\_id=4](https://www.szrf.ru/szrf/docslist.php?md=0&nb=100&year=&issid=1002011030000&div_id=4)

2. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федер. закон Рос. Федерации от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 20 июня 1997 г. // Собр. законодательства РФ. – 1997. № 30. Ст. 3588., Рос. газета. 1997. № 145.

<https://www.docs.cntd.ru/document/9046058/>,

[http://www.consultant.ru>cons\\_doc\\_LAW\\_15234](http://www.consultant.ru>cons_doc_LAW_15234) (дата обращения: 06.04.2022)

3. Годовой отчёт о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 году. М. 2021. 369 с.

[https://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports](https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports)

[https://gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/%D0%93%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82%20%D0%B7%D0%B0%2020%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf](https://gosnadzor.ru/public/annual_reports/%D0%93%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82%20%D0%B7%D0%B0%2020%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf)

4. Чек-лист аварии 02.11.2017 г. на отделении узла предварительной ректификации производства углеводородного сырья ПАО «Нижнекамскнефтехим».

<https://gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2017%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4/>

5. Чек-лист аварии 20.05.2016 на площадке производства синтетического каучука и нефтеполимерных смол ПАО «Нижнекамскнефтехим».

<https://gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2016%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4/>

6. Чек-лист аварии 16.07.2016 г. на установке гидрокрекинга газокаталитического производства филиала ПАО АНК «Башнефть» «Башнефть-Уфанефтехим».

<https://gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2016%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4/>

7. Чек-лист аварии 25.01.2021 г. на производстве пиролиза углеводородов нефти, очистки компримирования и разделения газа ПАО «Уфаоргсинтез». <https://gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php>

8. Чек-лист аварии 21.04.2021 г. на подземном стальном межпоселковом распределительном газопроводе высокого давления АО «Газпром газораспределения Черкесск».

<https://gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/2021-god/index.php>

**Tararychkin I.A., Anisimov V.N.**

### CAUSES OF ORIGIN AND FEATURES OF DEVELOPMENT ACCIDENTS AT PIPELINE TRANSPORT FACILITIES

*The features of the functioning of pipeline transport systems are considered. The categories of hazardous production facilities are defined, their classification according to the degree of potential danger is given. The data on accidents and fatal injuries in 2020 for all hazardous production facilities in Russia, including individual industries and facilities whose operation is associated with the use of pipeline transport, are given. The technical and organizational reasons for the occurrence of emergency situations are analyzed based on the analysis of the circumstances of the occurrence of initiating events. Examples of technogenic events are given with indication of the corresponding causal groups. The relevance of the problem of safe operation of pipeline transport facilities and prevention of accidents is shown.*

**Key words:** pipeline transport, dangerous objects, accidents, man-made events, causal groups.

**Тарарычкин Игорь Александрович**, д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «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 SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Анисимов Василий Николаевич**, ведущий инженер кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** anisimov.basil@mail.ru

**Anisimov Vasily**, lead engineer of the «Transport Technologies» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Нечаев Григорий Иванович**, д.т.н., профессор кафедры «Транспортные технологии», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 17.06.2022

УДК 629.423.1

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

Тасанг Э.Х., Иванова Е.И., Ключев А.С., Мокшина О.В.

## METHOD FOR CALCULATING RIGIDITY MATRICES IN ROD FINAL ELEMENTS

Tasang E.H., Ivanova E.I., Klyuev A.S., Mokshina O.V.

*Локомотивы подвижного состава железных дорог представляют собой с точки зрения проектирования и анализа совокупность сложных объектов различной физической природы, поэтому в настоящей работе излагается обобщенная методика, позволяющая в учебном процессе применить единый подход к автоматизированному составлению их моделей. Статья посвящена принципам построения систем автоматизированного проектирования (САПР) моделей инженерных объектов подвижного состава.*

**Ключевые слова:** граф, сечения, контуры, дерево, хорды, уравнения токов хорд.

**Введение.** Каждый из основных узлов локомотива является отдельным объектом для изучения и анализа протекающих в ней физических процессов. Причем они имеют различную физическую природу. Поэтому целесообразным становится нахождение универсального механизма для создания обобщенной методики автоматизированного составления математической модели.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Любой объект – конструкция изделия или оснастки, технологический процесс или процесс проектирования – моделируется одинаковыми математическими методами и средствами. Данный подход наблюдается и в высокоуровневых системных модулях, связанных непосредственно с производством (так называемые САМ – подсистемы – Computer Aided Manufacturing, или производство с помощью компьютеров), анализом – САЕ (Computer Aided Engeneering – расчетные подсистемы): одни из лучших генераторов сетки конечных элементов, модули линейного и нелинейного конечноэлементного анализа, а главное – уникальные подсистемы обработки экспериментальных данных для «настройки» расчетных программ известных в этой области компаний мира таких как SolidWorks, Intergraph, PTC и Autodesk и др.

**Цель работы.** Создание обобщенной методики автоматизированного составления математической

модели и ее программная реализация, включающая следующие этапы:

- построение модели;
- задание параметров элементов расчетной схемы;
- автоматическое формирование аналитических моделей инженерных объектов;
- формирование разрешающей системы линейных уравнений;
- решение полученной системы, определение результирующих переменных типа потока и типа потенциала.

**Материалы и результаты исследования.** Для математических моделей и обозначения элементов применяют несколько форм. Зачастую математические модели представляют в виде эквивалентных схем замещения (метод электрических аналогий) [1-3]. Использование эквивалентных схем применяется при анализе функционирования радиоэлектронных устройств, магнитных цепей, в теплотехнике, гидрогазодинамике и др. При этом применяют специфические системы обозначений элементов на эквивалентных схемах.

В используемых в САПР методах формирования математической модели системы (ММС) принято моделируемую систему представлять в виде совокупности подсистем (табл. 1) определенной физической природы (первый столбец). Для описания состояния подсистемы достаточно применить соответствующие фазовые переменные двух типов – потенциала и потока (второй и третий столбцы таблицы).

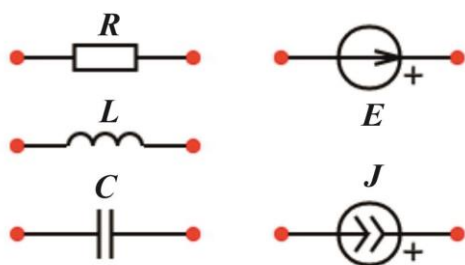
Будем использовать в дальнейшем единую систему обозначений для элементов всех подсистем, обычно применяемую при изображении электрических эквивалентных схем. При этом элементы представляют собой двухполюсники, которые могут быть пяти различных видов: активное сопротивление, электрическая емкость, катушка индуктивности, источники электродвижущей силы (ЭДС) и тока, их условные обозначения приведены на рис. 1.

Таблица 1

## Физический смысл переменных

| Подсистема                      | Фазовая переменная                         |                     | Параметры типа простых элементов |                                          |                              |
|---------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|----------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|
|                                 | Типа потенциала $U$                        | Типа потока $I$     | $C$                              | $L$                                      | $R$                          |
| Механическая поступательная     | Скорость                                   | Сила                | Масса                            | Гибкость (обратная величина – жесткость) | Механическое сопротивление   |
| Механическая вращательная       | Угловая скорость                           | Вращательный момент | Момент инерции                   | Вращательная гибкость                    | Вращательное сопротивление   |
| Электрическая                   | Электрическое напряжение                   | Электрический ток   | Электрическая емкость            | Электрическая индуктивность              | Электрическое сопротивление  |
| Магнитная                       | Магнитное напряжение, намагничивающая сила | Магнитный поток     | -                                | -                                        | Магнитное сопротивление      |
| Тепловая                        | Температура                                | Тепловой поток      | Теплоемкость                     | -                                        | Тепловое сопротивление       |
| Гидравлическая и пневматическая | Давление                                   | Расход              | Гидравлическая емкость           | Гидравлическая индуктивность             | Гидравлическое сопротивление |
| Акустическая                    | Акустическое давление                      | Объемная скорость   | Акустическая емкость             | Акустическая индуктивность               | Акустическое сопротивление   |

Переход от систем, отражающих гидравлические, пневматические, тепловые и другие процессы в проектируемых устройствах к эквивалентной схеме заключается в замене обозначений элементов функциональной схемы подсистемы из табл. 1 обозначениями двухполюсников по рис. 1.

Рис. 1. Простые элементы ( $R$ ,  $L$ ,  $C$ ) и источники ЭДС ( $E$ ) и тока ( $J$ )

Составление эквивалентных схем для механических систем начинается с выбора системы координат, начало  $O$ , которой должно быть связано с инерциальной системой отсчета. Максимально-возможное количество эквивалентных схем – 6 (для поступательного движения по трем координатам и вращательного движения вокруг осей, параллельных координатным осям). Процесс составления одной из эквивалентных схем для поступательного движения заключается в следующем: 1) для каждого тела  $A_i$  с массой  $C_i$  в эквивалентной схеме выделяется узел  $i$  и между узлом  $i$  и узлом  $O$  включается двухполюсник массы  $C_i$ ; 2) трение между контактируемыми телами  $A_p$  и  $A_q$  отражается двухполюсником механического сопротивления, включаемым между узлами  $p$  и  $q$ ; 3) пружина, соединяющая тела  $A_p$  и  $A_q$ , а также

другие упругие и диссипативные взаимодействия контактируемых тел  $A_p$  и  $A_q$  отражаются двухполюсниками гибкости (жесткости) и сопротивления, включаемым между узлами  $p$  и  $q$ .

В качестве примера на рис. 3, в приведена эквивалентная схема, моделирующая вертикальные скорости и усилия, возникающие в элементах движущегося транспортного устройства, условно изображенного на рис. 2 в виде платформы  $\Pi$  и колес  $K1$  и  $K2$ . Здесь учитываются массы платформы  $C_B$  и колес  $C_A$ , механического сопротивления колес  $R_K$  и рессор  $R_{\Pi}$ , жесткости колес  $L_K$  и рессор  $L_{\Pi}$ , а также силы веса  $P_{\Pi}$ ,  $P_{K1}$ ,  $P_{K2}$ , платформы и колес. Внешние воздействия отражены источниками скорости  $V_{K1}$  и  $V_{K2}$ .

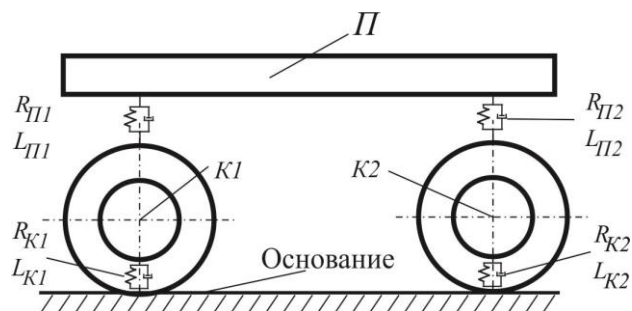


Рис. 2. Расчетная система для поступательного движения

Покажем процесс автоматизированного формирования расчетной системы уравнений схемы замещения и ее анализа, для упрощения изложения материала, для статического режима работы, без учета динамических процессов. Используя дальнейшие выкладки, без особых затруднений, можно применить и для учета динамических процессов.

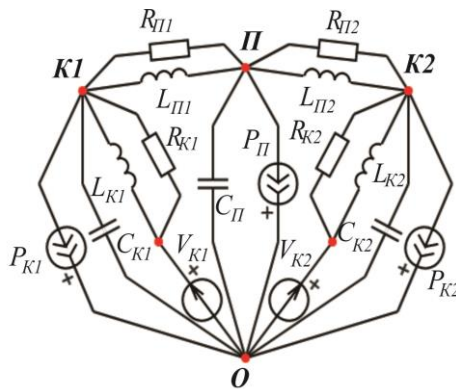


Рис. 3. Схема замещения для расчета поступательного движения

При статическом режиме (на постоянном токе) электрическая эквивалентная схема содержит только элементы: источники ЭДС –  $E$ , источники тока –  $J$  и активные сопротивления –  $R$ . Для этих элементов фазовые переменные и соотношения между ними и их параметрами будут следующие (рис. 4).

На рис. 4 за положительное направление тока каждого элемента принято положительное напряжение на элементе.

Уравнения математической модели элемента (ММЭ), приведенные под каждым элементом на рис. 4 называются компонентными. Уравнения, отражающие связи элементов между собой в составе системы называются топологическими. Топологические уравнения могут выражать законы сохранения, условия неразрывности, равновесия и т.п.

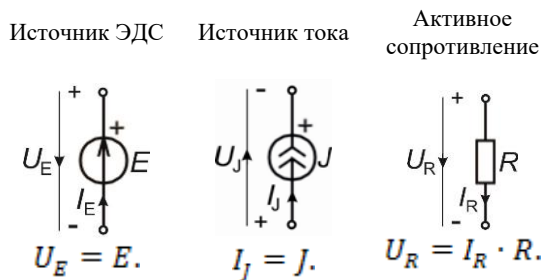


Рис. 4. Элементы эквивалентных схем цепи постоянного тока и соотношения между фазовыми переменными и их параметрами

Топологические уравнений связывают однотипные фазовые переменные элемента с остальными элементами системы. Например, уравнения законов Кирхгофа, записываемые относительно либо токов, либо напряжений ветвей. Компонентные уравнения связывают разнотипные фазовые переменные элемента через его параметры. Например, уравнение закона Ома связывает ток и напряжение резистора через его активное сопротивление.

В рассматриваемом случае все элементы эквивалентной схемы являются двухполюсниками и называются ветвями схемы. Точки на схеме, где соединяются две и более ветвей называются узлами. При изображении схемы нумеруются все ее элементы и узлы. Так как для каждой ветви характерным являются его фазовые переменные: напряжение на нем и протекающий через него ток, то необходимо ввести еще их положительное направление.

Таким образом, при заданной конфигурации схемы все ее элементы имеют индивидуальный номер и номер узлов начала и конца ветви, причем положительные направления тока и напряжения приняты от начала ветви к его концу. Компонентные составляющие параметра элемента представлены в виде его типа:  $E$  – источник ЭДС;  $J$  – источник тока;  $R$  – активное сопротивление, а топологические составляющие – номера узлов начала и конца элемента.

В стандартных методах анализа сначала определяются контурные токи или узловые напряжения; представляющие интерес токи или напряжения ветвей получают наложением указанных переменных. В ряде случаев требуется вводить в уравнения непосредственно токи и (или) напряжения любых ветвей в явном виде. Соответствующие уравнения более общего вида основаны на применении таких важных подграфов как *сечение, контур и дерево* графа.

Рассмотрим уравнения общего вида, позволяющие выводить напряжения или токи любых резистивных ветвей. Исходным моментом здесь является выбор дерева. При этом важно, чтобы уравнения имели упорядоченный вид, облегчающий запись соответствующих матриц коэффициентов и последующие преобразования уравнений. Для этого необходимо придерживаться следующего порядка [4-6].

1. Выбирают нормальное дерево графа. В качестве его ветвей принимаются: все источники напряжения и нужное для получения  $n_y - 1$  ветвей число резистивных элементов. Ветвями связи должны быть остальные резистивные элементы и все источники тока.

После выбора нормального дерева графа получаем ветви четырех типов с напряжениями и токами: 1) ветви дерева – источники напряжения ( $E$ -ветви):  $u_E, i_E$ ; резистивные ветви дерева ( $R$ -ветви):  $u_R, i_R$ ; резистивные ветви связи ( $G$ -ветви):  $u_G, i_G$ ; ветви связи-источники тока ( $J$ -ветви):  $u_J, i_J$ .

Принятое деление ветвей на ветви-источники и резистивные ветви учитывает их различную роль в уравнениях: напряжения источников напряжения и токи источников тока являются известными заданными величинами, а напряжения и токи резистивных элементов-неизвестными искомыми величинами, так же как токи источников напряжения и напряжения источников тока.

2. В соответствии с топологией цепи составляется ее направленный граф. Производят нумерацию ветвей графа так, что первые номера получают ветви дерева-источники напряжения, последующие – резистивные ветви дерева, затем резистивные ветви связи, а последние номера – ветви связи, представляющие источники тока. Можно принимать нумерацию, обратную указанной.

3. Для всех хорд намечаются главные контуры. На основе закона равновесия напряжений в каждом главном контуре напряжения ветвей связи выражаются через напряжения ветвей дерева. Число уравнений напряжений будет равно числу ветвей связи  $n_{\chi}$ .

4. Для всех ветвей дерева намечаются главные сечения. На основе закона равновесия токов в каждом главном сечении токи ветвей дерева выражаются через токи ветвей связи. Число

уравнений токов будет равно числу ветвей дерева  $n_d$ .

5. Записывают уравнения всех элементов или ветвей в соответствии с порядком принятой нумерации: ветвей – источников напряжения, резистивных ветвей дерева, резистивных хорд и ветвей – источников тока.

Рассмотрим составление уравнений, для наглядности иллюстрируя конкретными примерами. На рис. 5 приведена цепь, имеющая  $n_U = 6$  узлов,  $n_B = 9$  ветвей в виде двух источников напряжения, шести резистивных ветвей и источника тока. На рис. 5 изображено выбранное дерево графа. В качестве ветвей дерева приняты оба источника напряжения, которым приписаны первые номера 1 и 2, и три резистивных элемента с номерами 3, 4, 5. В качестве ветвей связи приняты три резистивные ветви с последующими номерами 6, 7, 8 и источник тока, получивший последний номер 9.

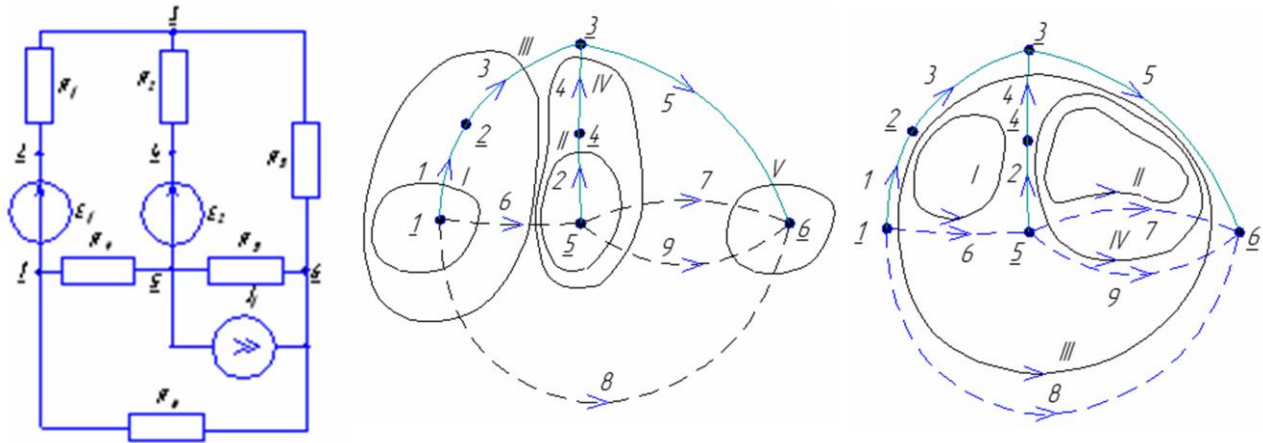


Рис. 5. Схема электрической цепи, главные сечения и главные контуры на дереве графа

Принятое разбиение ветвей на ветви-источники и резистивные ветви приводит к разбиению векторов напряжений и токов ветвей дерева и хорд на блоки (клетки).

Векторы напряжений и токов ветвей дерева представим в виде:

$$u_{\bar{A}} = \begin{bmatrix} u_E \\ u_R \end{bmatrix}; \quad i_{\bar{A}} = \begin{bmatrix} i_E \\ i_R \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $u_E$  и  $i_E$  – векторы напряжений и токов источников напряжения, число которых в общем случае равно  $n_E$ ;  $u_R$  и  $i_R$  – векторы напряжений и токов резистивных ветвей дерева, число которых равно  $n_R$ .

Аналогично векторы напряжений и токов хорд представим так:

$$u_{\bar{O}} = \begin{bmatrix} u_G \\ u_J \end{bmatrix}; \quad i_{\bar{O}} = \begin{bmatrix} i_G \\ i_J \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $u_J$  и  $i_J$  – векторы напряжений и токов хорд – источников тока, число которых в общем случае равно  $n_J$ ;  $u_G$  и  $i_G$  – векторы напряжений и токов резистивных хорд, число которых равно  $n_G$ .

В соответствии с разбиением векторов напряжений и токов ветвей дерева и хорд разобьем на клетки топологическую матрицу

$$F = \begin{matrix} & G & J \\ \begin{matrix} E \\ R \end{matrix} & \begin{bmatrix} F_{EG} & F_{EJ} \\ F_{RG} & F_{RJ} \end{bmatrix} & = -F_1^T. \end{matrix} \quad (3)$$

Для графа рис. 5, отмечая хорды, вошедшие в каждое главное сечение, имеем

|      |     |     |     |     |                                                                                                                                    |
|------|-----|-----|-----|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | 6   | 7   | 8   | 9   |                                                                                                                                    |
|      | (G) | (G) | (G) | (J) |                                                                                                                                    |
| 1(E) | 1   | 0   | 1   | 0   | $F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$ |
| 2(E) | -1  | 1   | 0   | 1   |                                                                                                                                    |
| 3(R) | 1   | 0   | 1   | 0   |                                                                                                                                    |
| 4(R) | -1  | 1   | 0   | 1   |                                                                                                                                    |
| 5(R) | 0   | 1   | 1   | 1   |                                                                                                                                    |

Подматрицы  $F_{EG}$  и  $F_{EJ}$  показывают, какие хорды – резистивные и в виде источников тока – входят в сечения, образованные ветвями дерева – источниками напряжения, а подматрицы  $F_{RG}$  и  $F_{RJ}$  – в сечения, образованные резистивными ветвями дерева.

Запишем уравнения равновесия токов в главных сечениях в развернутом виде в соответствии с разбиением матрицы на подматрицы – клетки. Для вектора токов дерева имеем

$$i_A = \begin{vmatrix} i_E \\ i_R \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} F_{EG} & F_{EJ} \\ F_{RG} & F_{RJ} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i_G \\ i_J \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Перемножив матрицы, для векторов токов – источников напряжения и резистивных ветвей дерева получаем:

$$\begin{aligned} i_E &= -F_{EG} \cdot i_G - F_{EJ} \cdot i_J; \\ i_R &= -F_{RG} \cdot i_G - F_{RJ} \cdot i_J. \end{aligned} \quad (6)$$

Для цепи рис. 5 из (4) имеем:

$$\begin{aligned} F_{EG} &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \end{vmatrix}; F_{EJ} = \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \end{vmatrix}; \\ F_{RG} &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}; F_{RJ} = \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix}. \end{aligned} \quad (7)$$

На основе (6) с учетом (7) уравнения для токов главных сечений запишем:

$$\begin{aligned} i_E &= \begin{vmatrix} i_1 \\ i_2 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i_6 \\ i_7 \\ i_8 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \end{vmatrix} \cdot i_9 = \\ &= \begin{vmatrix} -i_6 + 0 - i_8 + 0 \\ i_6 - i_7 + 0 - i_9 \end{vmatrix} \\ i_R &= \begin{vmatrix} i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i_6 \\ i_7 \\ i_8 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix} \cdot i_9 = \\ &= \begin{vmatrix} -i_6 + 0 - i_8 + 0 \\ i_6 - i_7 + 0 - i_9 \\ -i_6 - i_7 - i_8 - i_9 \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

Запишем аналогичным образом уравнения равновесия напряжений в главных контурах через подматрицы клетки. Для вектора напряжений хорд имеем

$$u_X = \begin{vmatrix} u_G \\ u_J \end{vmatrix} = F^T u_A = \begin{vmatrix} F_{EG}^T & F_{EJ}^T \\ F_{RG}^T & F_{RJ}^T \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} u_E \\ u_R \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Перемножение матриц, для векторов напряжений резистивных хорд и хорд – источников тока дает:

$$\begin{aligned} u_G &= F_{EG}^T \cdot u_E + F_{RG}^T \cdot u_R; \\ u_J &= F_{EJ}^T \cdot u_E + F_{RJ}^T \cdot u_R. \end{aligned} \quad (9)$$

Для цепи рис. 5 в соответствии с (8) с учетом (7) уравнения для напряжений главных контуров запишем:

$$\begin{aligned} u_G &= \begin{vmatrix} u_6 \\ u_7 \\ u_8 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} u_1 \\ u_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} u_1 - u_2 + u_3 + u_4 + 0 \\ 0 + u_2 + 0 + u_4 + u_5 \\ u_1 + 0 + u_3 + 0 + u_5 \end{vmatrix} \\ u_J &= \begin{vmatrix} 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} u_1 \\ u_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{vmatrix} = \\ &= 0 + u_2 + 0 + u_4 + u_5 \end{aligned}$$

К полученным уравнениям соединений (6) и (8) необходимо добавить уравнения элементов (компонентные), записанные также в матричной форме. Для резистивных ветвей дерева и хорд имеем:

$$u_R = R_R \cdot i_R, \quad u_G = R_G \cdot i_G, \quad (10)$$

где  $R_R$ ,  $R_G$  – диагональные матрицы, элементами которых являются сопротивления ветвей дерева и хорд. Для рассматриваемой цепи имеем:

$$\begin{aligned} u_R &= \begin{vmatrix} u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_1 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{vmatrix} = R_R \cdot i_R; \\ u_G &= \begin{vmatrix} u_6 \\ u_7 \\ u_8 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_6 & 0 & 0 \\ 0 & R_7 & 0 \\ 0 & 0 & R_8 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i_6 \\ i_7 \\ i_8 \end{vmatrix} = R_G \cdot i_G. \end{aligned} \quad (11)$$

Для ветвей источников имеем:

$$u_E = \begin{vmatrix} u_{E1} \\ u_{E2} \end{vmatrix}, \quad i_J = i_{J1}. \quad (12)$$

На основе приведенных уравнений элементов и уравнений соединений (6), (9) можно получить следующие общие уравнения линейной цепи: 1) токов хорд; 2) напряжений ветвей дерева; 3) гибридные уравнения.

Уравнения токов хорд. Для того чтобы в окончательной системе уравнений оставить только неизвестные переменные – токи резистивных хорд поступают так: 1) за исходные уравнения соединений берется первая система (10), выражающая напряжения  $G$  – хорд через напряжения ветвей дерева; 2) в системе заменяются напряжения всех резистивных ветвей через токи согласно уравнениям элементов (10), а напряжения ветвей – заданными величинами  $E$ ; 3) заменяются токи всех резистивных ветвей токами хорд в соответствии со второй системой (6). В результате подстановок имеем

$$\begin{aligned} u_G &= R_G \cdot i_G = F_{RG}^T \cdot E + F_{EG}^T \cdot R_R \cdot i_R = \\ &= -F_{RG}^T \cdot R_R \cdot F_{RG} \cdot i_G - F_{RG}^T \cdot R_R \cdot F_{RJ} \cdot i_J + F_{RG}^T \cdot E. \end{aligned}$$

После преобразований система уравнений для искомого вектора токов  $G$  – хорд примет вид

$$C \cdot i_G = D, \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned} C &= R_G + F_{RG}^T \cdot R_R \cdot F_{RG}; \\ D &= -F_{RG}^T \cdot R_R \cdot F_{RJ} + F_{EG}^T \cdot E. \end{aligned} \quad (14)$$

Решение системы линейных уравнений (13) дает значение вектора токов резистивных хорд. Соответствующее ему значение вектора напряжений  $u_G = R_G \cdot i_G$ . Остальные переменные определяются в следующем порядке. Из (6) по известному вектору токов источников тока находим векторы  $i_R$ ,  $i_E$  токов ветвей дерева. Соответствующий вектор напряжений резистивных ветвей дерева  $u_R = R_R \cdot i_R$ . Далее, из (10) по известным векторам напряжения источников напряжения и резистивных ветвей дерева определяем вектор напряжений источников тока.

Для приведенной выше цепи

$$\begin{aligned} C &= \begin{vmatrix} R_4 & 0 & 0 \\ 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & R_6 \end{vmatrix} + \\ &+ \begin{vmatrix} -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} R_1 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} R_1 + R_2 + R_4 & -R_2 & -R_1 \\ -R_2 & R_2 + R_3 + R_5 & R_3 \\ -R_1 & R_3 & R_1 + R_3 + R_6 \end{vmatrix}. \\ D &= \begin{vmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & -1 \\ -1 & 0 & -1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} R_1 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \cdot |J_1| + \\ &+ \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} E_1 \\ E_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_2 \cdot J_1 + E_1 - E_2 \\ -(R_2 + R_1) \cdot J_1 + E_2 \\ -R_3 \cdot J_1 + E_1 \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

После подстановки в (13) получим систему уравнений для токов резистивных ветвей хорд

$$\begin{aligned} (R_1 + R_2 + R_4) \cdot i_5 - R_2 \cdot i_6 - R_1 \cdot i_7 &= R_2 \cdot J_1 + E_1 - R_2 \\ R_2 \cdot i_5 + (R_2 + R_3 + R_5) \cdot i_6 + R_1 \cdot i_7 &= -(R_2 + R_1) \cdot J_1 + E_2 \\ -R_1 \cdot i_5 + R_3 \cdot i_6 + (R_1 + R_3 + R_6) \cdot i_7 &= -R_3 \cdot J_1 + E_1 \end{aligned}$$

В результате решения системы (13) получим токи:

$$\begin{vmatrix} i_{R4} \\ i_{R5} \\ i_{R6} \end{vmatrix} = |i_G| = \begin{vmatrix} i_6 \\ i_7 \\ i_8 \end{vmatrix}$$

Определим остальные переменные. Токи с источниками ЭДС и резистивные ветви дерева:

$$\begin{aligned} i_E &= -F_{EG} \cdot i_G - F_{EJ} \cdot i_J = \begin{vmatrix} -1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i_6 \\ i_7 \\ i_8 \end{vmatrix} + \\ &+ \begin{vmatrix} 0 \\ -1 \end{vmatrix} \cdot |J_1| = \begin{vmatrix} -i_6 - i_8 \\ -i_6 - i_7 - J_1 \end{vmatrix}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_R &= -F_{RG} \cdot i_G - F_{RJ} \cdot i_J = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & -1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i_6 \\ i_7 \\ i_8 \end{vmatrix} + \\ &+ \begin{vmatrix} 0 \\ -1 \\ -1 \end{vmatrix} \cdot |J_1| = \begin{vmatrix} i_6 - i_8 \\ i_6 - i_7 - J_1 \\ -i_7 - i_8 - J_1 \end{vmatrix}. \\ \begin{vmatrix} i_{E1} \\ i_{E2} \end{vmatrix} &= |i_E| = \begin{vmatrix} i_1 \\ i_2 \end{vmatrix}; \quad \begin{vmatrix} i_{R1} \\ i_{R2} \\ i_{R3} \end{vmatrix} = |i_R| = \begin{vmatrix} i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{vmatrix}; \end{aligned}$$

Напряжения резистивных ветвей хорд и дерева и на источниках тока:

$$\begin{aligned} u_G &= \begin{vmatrix} u_6 \\ u_7 \\ u_8 \end{vmatrix} = R_G \cdot i_G = \begin{vmatrix} R_4 & 0 & 0 \\ 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & R_6 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i_6 \\ i_7 \\ i_8 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} R_4 \cdot i_6 \\ R_5 \cdot i_7 \\ R_6 \cdot i_8 \end{vmatrix}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_R &= \begin{vmatrix} u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{vmatrix} = R_R \cdot i_R = \begin{vmatrix} R_1 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} R_1 \cdot i_3 \\ R_2 \cdot i_4 \\ R_3 \cdot i_5 \end{vmatrix}; \end{aligned}$$

$$u_J = F_{EJ}^T \cdot u_E + F_{RJ}^T \cdot u_R = \begin{vmatrix} 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} E_1 \\ E_2 \end{vmatrix} +$$

$$+ \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{vmatrix} = E_2 + u_4 + u_5 = E_2 + R_2 \cdot i_4 + R_3 \cdot i_5.$$

Согласно приведенной методике, авторами разработана графическая оболочка и программа расчета резистивной цепи, представляющей собой схему замещения произвольного физического объекта на языке программирования JavaScript в html. Пример результатов расчета расчетной схемы по рис. 5 представлен на рис. 6 и 7.

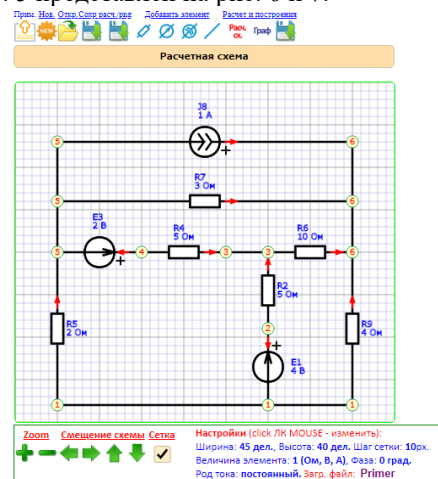


Рис. 6. Изображение расчетной схемы

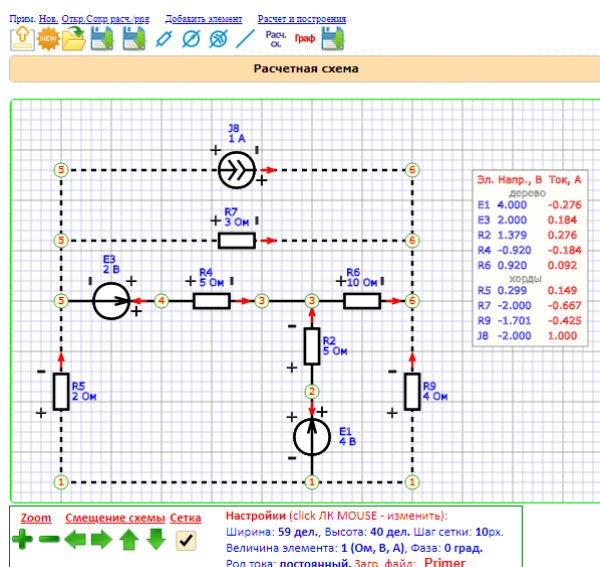


Рис. 7. Изображение результатов расчета для схемы рис. 6

**Выводы.** Приведенная обобщенная методика составления математической модели и ее программная реализация, включающая построение модели, задание параметров элементов расчетной схемы, автоматическое формирование аналитических моделей инженерных объектов, формирование разрешающей системы линейных уравнений и ее решение, позволяет абстрагироваться от физической сущности объекта и упростить понимание материала при ведении учебного процесса по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования подвижного состава железных дорог».

### Л и т е р а т у р а

11. Певчев В.П. Составление электрических схем замещения электротехнических систем на основе метода аналогий: учеб. пособие / В.П. Певчев. – Тольятти: ТГУ, 2010. – 87 с.
12. Калинкина М.Е., Пирожникова О.И., Ткалич В.Л., Комарова А.В., Микроэлектромеханические системы и датчики. – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 75 с.
13. Кононюк А.Е. Обобщенная теория моделирования. Ч. 2 (начало). – "Освіта України", 2018. – 522 с.
14. Петренко А.И. Основы автоматизации проектирования. – К.: Техника, 1982. – 295 с.
15. Системы автоматизированного проектирования: В 9 кн. Кн. 2. Технические средства и операционные системы: Учебное пособие для вузов / Д.М. Жук, В.А. Мартынюк, П.А. Сомов; Под ред. И.П. Норенкова. – М.: Высшая школа, 1986. – 159 с.
16. Демирчян К.С., Бутырин П.А. Моделирование и машинный расчет электрических цепей: Учеб. пособие для электр. и электроэнерг. спец. вузов. – М.: высш. шк., 1988. – 335 с.

**Tasang E.H., Ivanova E.I., Klyuev A.S., Mokshina O.V.**

### METHOD FOR SIMULATION OF OBJECTS OF DIFFERENT PHYSICAL NATURE ON RAILWAY ROLLING STOCK

From the point of view of design and analysis, locomotives of the rolling stock of railways represent a set of complex objects of various physical nature, therefore, in this paper, a generalized methodology is presented that allows applying a unified approach to the automated compilation of their models in the educational process. The article is devoted to the principles of building computer-aided design (CAD) systems for models of engineering objects of rolling stock.

**Key words:** finite elements method, hinge, stiffness matrix.

**Тасанг Эрик Хельмутович**, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** tasang240555@mail.ru

**Tasang Erik**, senior lecturer of the «Railway transport» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Иванова Елена Ивановна**, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** eleandra1@mail.ru

**Ivanova Elena**, senior lecturer of the «Railway transport» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Клюев Александр Семенович**, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** aklyev1954@gmail.com

**Klyuev Alexander**, senior lecturer of the «Railway transport» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Мокшина Ольга Васильевна**, старший преподаватель кафедры «Железнодорожный транспорт», ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** eleandra1@mail.ru

**Mokshina Olga**, senior lecturer of the «Railway transport» Department of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

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

Статья подана 04.04.2022

УДК 621.878/.879:620.178.1

## ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ГУСЕНИЧНЫХ ХОДОВЫХ УСТРОЙСТВ

Шовкопляс А.В.

### WEAR RESISTANCE OF PARTS OF TRACKED RUNNING GEAR

Shovkoplias A.V.

*К факторам, влияющим на изнашивание, относятся: внешние воздействия, промежуточная среда, условия сопряжения деталей, физико-механические свойства контактирующих поверхностей. Внешние воздействия характеризуются нагружением и трением. Нагрузка, прикладываемая к сопрягаемым поверхностям деталей, обуславливает давление в зоне контакта. На изнашивание влияют как значение нагрузки, так и частота ее изменения, а также структуры составляющих металлов контактирующих деталей, скорость взаимодействия металла и грунта, давление на абразивную частицу. На изнашивание также оказывают влияние тип и конструктивные особенности привода, механизмов выключения и управления, характер разрабатываемого грунта, вид используемого рабочего оборудования, тип гусеничного ходового устройства.*

**Ключевые слова:** изнашивание, износостойкость, абразивная частица, нагружение, трение, опорный каток, гусеничная лента.

**Введение.** Анализ конструкции гусеничных ходовых устройств, применяемых на строительных машинах, показывает, что несмотря на большое разнообразие выпускаемых моделей машин различных типоразмеров, конструкция основных элементов ходового устройства в значительной степени унифицирована и различается лишь размерами деталей [1-7].

Обобщение опыта работы ряда специализированных строительных и ремонтных организаций, а также проведенные испытания позволили установить следующее: наработка деталей гусеничных ходовых устройств подчиняется нормальному закону распределения; скорости изнашивания деталей зависят от конструктивных особенностей машин; наработки деталей сборочных единиц (опорного катка, направляющего колеса и др.) различны. Все это не обеспечивает проведение рациональной их замены с минимальными затратами.

Повышение долговечности (износостойкости) должно решаться с учетом как технических, так и экономических задач.

Оптимальный, экономически обоснованный срок службы деталей определяют при сопоставлении затрат для увеличения наработки с

затратами на поддержание гусеничного ходового устройства в работоспособном состоянии.

**Изложение основного материала.** Факторами, влияющими на изнашивание, являются: внешние воздействия, промежуточная среда, условия сопряжения деталей, физико-механические свойства сопряженных поверхностей.

Внешними воздействиями являются нагружение и трение. Нагрузка на рабочие поверхности деталей обуславливает давление в зоне контакта. Характер действия нагрузки может быть различным – статический, циклический и т. д. На изнашивание влияют не только значение нагрузки, но и частота ее изменения.

Трение поверхностей может вызываться постоянно направленным воздействием, в результате чего происходит одностороннее смещение одной поверхности относительно другой (качение, скольжение или качение с проскальзыванием). В ряде случаев взаимное перемещение поверхностей трения носит возвратно-поступательный характер. Тогда коэффициент трения определяется величиной перемещения и ее частотой.

Причинами потерь деталями рабочих свойств могут быть поломка, вызванная потерей прочности, или их износ. Анализ работ ремонтных предприятий показывает, что при дефектации 0,77% деталей выбраковывается вследствие поломок, а 99,23% – по причине изнашивания. Для строительных и дорожных машин одной из главных причин потери работоспособности деталей гусеничных ходовых устройств является абразивное изнашивание.

Абразивное изнашивание является результатом взаимодействия материала детали с твердыми частицами, находящимися в свободном или закрепленном состоянии. При этом различают три случая работы деталей пар трения:

1. Абразивные частицы (рис. 1, а) поступают в зону контакта рабочих поверхностей деталей и, не разрушаясь, воздействуют на них. В этом случае износ увеличивается с повышением нагрузки.

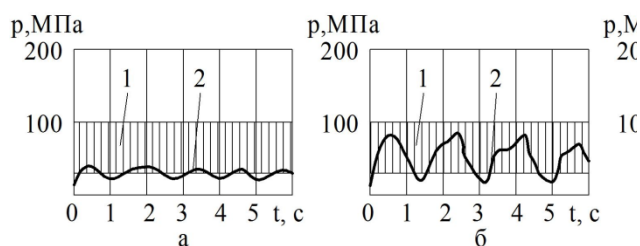


Рис. 1. Типовые схемы нагружения поверхностей трения: а – давление на поверхности трения деталей меньше давления в зоне разрушения абразивных частиц; б – давление на поверхности трения деталей равно давлению в зоне разрушения абразивных частиц; в – давление на поверхности трения деталей больше давления в зоне разрушения абразивных частиц; 1 – зона разрушения абразивных частиц; 2 – характер изменения давления на поверхности трения деталей

2. Абразивные частицы (рис. 1, б) под действием нагрузки внедряются в поверхности трения на определенную глубину и дробятся. Дробление происходит при условии динамического равновесия внешней нагрузки и усилия, необходимого для разрушения абразивных частиц. В этом случае износ мало зависит от нагрузки.

3. Абразивные частицы (рис. 1, в) внедряются в поверхности трения деталей на определенную глубину и многократно дробятся. Постепенно размеры абразивных частиц становятся меньше высоты шероховатостей поверхностей, и начинает происходить непосредственный контакт деталей.

Такое разделение условий работы возможно лишь при работе на установившихся постоянных режимах. Для деталей строительных и дорожных машин характерен циклический характер нагружения, при котором, регулярно повторяясь, чередуются все эти три случая работы. Это и обуславливает особенности их изнашивания.

**Результаты исследований.** При работе экскаватора, бульдозера и пр. для пары каток-звено гусеницы характерным режимом являются возвратно-поступательные перемещения рамы нижней тележки, вызывающие перекатывание с проскальзыванием поверхностей катков по гусеничным звеньям. На поверхность беговых дорожек (дорожек катания) гусеничных звеньев, обладающих высокой механической прочностью и твердостью, попадают абразивные частицы. Число абразивных частиц, попадающих в зазор, не слишком велико, а их механическая прочность зависит от размера частиц. Например, при размерах частиц 100, 200, 300, 400 мкм разрушающая нагрузка составляет соответственно 900, 400, 250, 180 МПа. Поэтому возможны два случая работы:

1) опорный каток перекачивается по абразивным частицам, не разрушая их; абразивные частицы изнашивают поверхности деталей пары;

2) опорный каток при перемещении разрушает абразивные зерна, которые дробятся до размеров, соизмеримых с высотой микронеровностей.

Эти два случая работы можно представить:

$$P_{B,y} \leq \sum_{i=n} P_i; \quad P_{B,y} \geq \sum_{i=n} P_i, \quad (1)$$

где  $P_{B,y}$  – нагрузка на единицу длины контакта;  $P_i$  – нагрузка, разрушающая абразивные частицы с условным радиусом  $R_i$ ;  $n$  – число абразивных частиц, одновременно взаимодействующих с деталями.

Последнее неравенство возможно, когда величины, входящие в правую часть, будут иметь наибольшее значение. Это произойдет, если все абразивные частицы, попавшие в зону контакта, одновременно будут воспринимать наибольшую нагрузку. Расчеты и практика показывают, что все абразивные частицы, попадающие в зазор, дробятся до размеров, соизмеримых с размерами микронеровностей поверхностей. Это говорит о том, что поверхности деталей пары каток-звено гусеницы более 80% времени контактируют непосредственно.

На абразивное изнашивание влияют также структура составляющих металлов, скорость взаимодействия металла и грунта, давление на абразивную частицу.

Износостойкость сталей характеризуется содержанием карбидов – стали с ферритно-мартенситной структурой лучше сопротивляются абразивному изнашиванию. При наклепе твердость металла увеличивается с 1300 до 2300 МПа, а износостойкость не изменяется. Чем меньше разница твердости абразивных частиц и металла, тем меньше скорость изнашивания. При соотношении твердости абразива и металла, равном 1,6-2,0, нарушается линейная зависимость износостойкости от твердости.

Изнашивание металла практически начинается при размерах абразивных частиц 5 мкм и с увеличением размеров до 100 мкм скорость изнашивания повышается. При дальнейшем увеличении размеров абразивных частиц скорость изнашивания остается постоянной.

Функциональную зависимость износа от основных факторов при наличии абразивных частиц и плохих условиях поступления смазочного материала можно представить в следующем виде:

$$U_{1,2} = \psi_2 \left[ P_y, P_0, v_h, S, t^\circ, \varphi_0, \left( \frac{R_{z1}}{R_{z2}} \right), \left( \frac{A_1}{A_2} \right), \left( \frac{R_z}{r} \right), \dots, d_A, Q_{0A}, H_{DA}, \dots \right], \quad (2)$$

где  $P_y$  – удельная нагрузка, Н/т;  $P_0$  – изменение нагрузки, Н;  $v_h$  – частота изменения нагрузки,  $c^{-1}$ ;  $S=v \cdot t$  или  $S=\delta \cdot v_\delta \cdot t$  – путь трения, характеризующийся перемещениями поверхностей трения и их частотой;  $v$  – скорость, м/с;  $t$  – время трения, ч;  $\delta$  – перемещение, см;  $v_\delta$  – частота перемещений,  $c^{-1}$ ;  $t^\circ$  – температура трения,  $^\circ C$ ;  $\varphi_0$  – половина угла контакта,  $^\circ$ ;  $f$  – коэффициент трения;  $\psi_e$  – относительный зазор в сочленении;  $R_{z1}/R_{z2}$  – отношение высот неровности поверхностей катка и

звена гусеницы;  $A_1/A_2$  – отношение поверхностей теплоотдачи катка и звена;  $R_z/r$  – отношение высот неровностей к радиусам закругления шероховатостей поверхностей трения;  $d_A$  – средний диаметр абразивных частиц, м;  $Q_{OA}$  – удельный объемный расход абразивных частиц,  $m^3/m^2$ ;  $N_{дА}$  – твердость абразивных частиц, МПа.

В процессе разработки грунта на нижнюю тележку экскаватора, бульдозера передаются усилия от действия механизмов, приводящих в действие ковш (отвал) при копании (перемещении) грунта, инерционные силы и моменты при повороте платформы с оборудованием на разгрузку ковша и обратном ее повороте. Эти усилия могут быть разложены на вертикальные и горизонтальные составляющие.

Вертикальные составляющие нагрузок приводят к изменению нагружения опорных элементов, а горизонтальные составляющие нагрузок, передающиеся на раму нижней тележки, стремятся сдвинуть ее. Нижняя тележка удерживается на месте силами сопротивления от трения скольжения гусеничных лент по грунту.

Сопоставление действующих сил и сил сопротивления позволило для всего ряда одноковшовых экскаваторов установить основные аналитические зависимости:

$$P_{сц} > \sum P_r > \sum W; M_{тр} > M > \sum M_w, \quad (3)$$

где  $P_{сц}$  – сила сцепления гусениц с грунтом, Н;  $P_r$  – сумма горизонтальных сил, смещающих раму нижней тележки, Н;  $\sum W$  – сумма сопротивлений перемещению рамы нижней тележки, Н;  $M_{тр}$  – момент сил трения гусениц о грунт, Н·м;  $M$  – вращающий момент механизма поворота, передающийся на раму нижней тележки, Н·м;  $\sum M_w$  – сумма моментов сил сопротивления, Н·м.

В каждом цикле работы экскаватора при разгоне и торможении поворотной платформы на нижнюю раму передается момент, вызывающий ее поворот (до выбора зазоров) в сторону, обратную повороту платформы. Поворот рамы будет происходить до упора реборд опорных катков в гребни гусеничных лент. Дальнейшего поворота не произойдет, так как силы сцепления гусениц с грунтом больше сдвигающих сил.

Исследовалось совокупное влияние типа привода (механического, электрического и гидравлического), конструктивных особенностей привода, механизмов выключения и управления на перемещения рамы нижней тележки и их частоту. Кроме этого, на перемещение нижней тележки и их частоту влияет характер разрабатываемого грунта, вид используемого рабочего оборудования, тип гусеничного ходового устройства (с жесткой или балансирной подвеской опорного катка). Было установлено, что вид грунта на перемещения нижней тележки и их частоту не влияет. При разработке плотных грунтов имеют место случаи смещения (скольжения) гусениц по грунту.

Перемещения при указанных выше типах ходовых устройств одинаковы, а частота перемещений при применении балансирной подвески опорного катка на 20 % больше.

Проведенные исследования показали, что при работе экскаватора под действием горизонтальных сил и моментов происходят возвратно-поступательные перемещения поверхностей деталей опорных элементов гусеничного ходового устройства, вызывающие трение. Этот процесс рабочих поверхностей деталей достаточно полно характеризуется средними (наиболее часто встречающимися) перемещениями и их частотой.

Также на перемещение поверхностей трения деталей и их частоту влияют: тип и конструкция исполнительных механизмов, система управления, тип гусеничного устройства. Вид разрабатываемого грунта и вид рабочего оборудования влияют незначительно.

В то же время на экскаваторах с механическим приводом, ленточными фрикционными муфтами, механическими вспомогательными усилителями и механической системой управления, обеспечивающими наиболее плавную работу машины, перемещения и частота наименьшие –  $\delta = 0,81$ ,  $v_\delta = 0,9$ .

Если принять характер процесса трения поверхностей деталей на таком экскаваторе за эталонный, то используя систему коэффициентов, можно в общем виде записать:

$$S = \left[ \left( K'_y \cdot K'_x \cdot K'_o \cdot K'_r \right) \cdot \delta_\Delta \right] \times \left[ \left( K''_y \cdot K''_x \cdot K''_o \cdot K''_r \right) \cdot v_{\delta_\Delta} \right] \quad (4)$$

где  $K'_y$ ,  $K''_y$  – коэффициенты, учитывающие влияние системы управления;  $K'_x$ ,  $K''_x$  – коэффициенты, учитывающие влияние типа ходового устройства;  $K'_o$ ,  $K''_o$  – коэффициенты, учитывающие влияние типа рабочего оборудования;  $K'_r$ ,  $K''_r$  – коэффициенты, учитывающие влияние вида грунта;  $\delta_\Delta$ ,  $v_{\delta_\Delta}$  – средние перемещения эталонной системы и их частота.

Исследование изнашивания поверхностей основных сочленений деталей гусеничных ходовых устройств показало, что в определенных пределах изменения факторов, характеризующих условия работы поверхностей трения, вид изнашивания сохраняется, а его значение изменяется пропорционально изменению этих факторов.

При трении поверхностей работы силы трения расходуются на упругие и пластические деформации пятен контакта, микрорезание поверхностей, на повышение температуры и их износ. Причем четкого распределения потерь энергии получить не представляется возможным. Однако учитывая, что температура деталей гусеничных движителей повышается незначительно, что не приводит к изменению вида износа и свойств поверхностных слоев деталей, следует предположить, что большая часть работы сил

трения, затрачиваемая на изнашивание, изменяется пропорционально изменению факторов, определяющих условия внешних воздействий.

Износ пропорционален силам трения и пути скольжения, а скорость изнашивания – работе сил трения, отнесенной к площади контакта поверхностей:

$$\gamma_1 = A_1 \cdot \frac{W}{A_2}; \quad \gamma_2 = A_2 \cdot \frac{W}{A_a}, \quad (5)$$

где  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  – скорости изнашивания деталей пары трения мкм/ч;  $A_1$  и  $A_2$  – коэффициенты пропорциональности, МПа<sup>-1</sup>;  $W$  – работа сил трения в единицу времени, Дж/ч;  $A_a$  – номинальная площадь контакта, см<sup>2</sup>.

Коэффициенты пропорциональности характеризуют наличие неисследованных свойств материалов, условной номинальной площади контакта.

Для машин с новыми конструктивными решениями часть показателей должна быть определена экспериментально.

**Выводы.** Серия направленных экспериментов позволила установить, что скорость изнашивания деталей гусеничных ходовых устройств при работе экскаватора с включенными тормозными устройствами и разработке при этом грунта в 1,4 раза больше, чем при движении экскаватора. Это показывает, что условия работы деталей (нагружение, трение) при этом режиме являются основными, тем более что на выполнение работы затрачивается 94% рабочего времени, а на передвижение – 6%.

Изнашивание деталей гусеничного ходового устройства одноковшового экскаватора в основном (90-95%) происходит при разработке грунта, когда на поверхности трения деталей действует нагрузка, носящая циклический характер, а поверхности трения совершают возвратно-поступательные перемещения, величина и частота которых известна.

Для достижения оптимального срока службы деталей их износостойкость должна быть повышена в 2,5-2,8 раза.

### Л и т е р а т у р а

1. Гаврилов К.Л. Дорожно-строительные машины иностранного и отечественного производства: устройство, диагностика и ремонт / К.Л. Гаврилов, Н.А. Забара. – М.: Майор, Издатель А.И. Осипенко, 2011. – 480 с.
2. Кос И.И. Основы надежности дорожных машин: учебное пособие / И.И. Кос, В.А. Зорин. – М.: Машиностроение, 2015. – 166 с.
3. Рейш А.К. Повышение износостойкости строительных и дорожных машин / А.К. Рейш. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
4. Современная трибология. Итоги и перспективы / Отв. ред. К.В. Фролов. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 480 с.

5. Старостина Ж.А. Вопросы повышения надежности дорожных и строительных машин / Ж.А. Старостина // Наука, техника и образование. – Иваново: Олимп, 2015, № 8 (14). – С. 29-31.

6. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания / В.Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 1995. – 330 с.

7. Шестопапов К.К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование / К.К. Шестопапов. – М.: Образовательно-издательский центр «Академия», 2012. – 320 с.

**Shovkoplias A.V.**

### WEAR RESISTANCE OF PARTS OF TRACKED RUNNING GEAR

*Increasing the wear resistance of the elements of tracked running gear is not only a technical, but also an economic task. Wear is influenced by the following factors: external influences (the magnitude and nature of the load, the frequency of its change, friction), the intermediate medium, the conditions of coupling of parts, the physical and mechanical properties of the conjugated surfaces.*

*For construction and road vehicles, the main reason for the loss of operability of parts of tracked running gear is abrasive wear. Abrasive particles, falling into the gap of rubbing pairs, are crushed to sizes that are commensurate with the size of the micro-dimensions of their surfaces. Metal wear begins at the size of abrasive particles of 5 microns and with their increase, the wear rate increases.*

*The wear of parts of tracked running gear is collectively influenced by: the type of drive – mechanical, electric, hydraulic; design features of the drive; shutdown and control mechanisms; the nature of the soil being developed; the type of working equipment used; the type of tracked running gear – with a rigid or balanced suspension of the support roller.*

*The working conditions of the parts are crucial, since 94% of the working time is spent on work, and 6% on movement. To achieve optimal service life of parts, their wear resistance should be increased by 2.5-2.8 times.*

**Key words:** wear, wear resistance, abrasive particle, loading, friction, support roller, crawler belt.

**Шовкоплас Александр Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортная техника» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
E-mail: silkdance@yandex.ru

**Shovkoplias Aleksandr**, Candidate of Sciences (Eng.), associate professor of the Chair «Lifting and transport equipment», SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Замота Тарас Николаевич**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Автомобильный транспорт» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 14.04.2022

УДК 658.817

## ФОРМИРОВАНИЯ АССОРТИМЕНТНОЙ ПОЛИТИКИ ТОРГОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ЕГО СОДЕРЖАНИЕ

Горбачева Е.В.

### FORMATION OF THE ASSORTMENT POLICY OF A TRADING ENTERPRISE AND ITS CONTENT

Gorbacheva E.V

*В данной статье рассмотрено, что для эффективной работы торгового предприятия необходимо, чтобы товарный ассортимент наиболее полно соответствовал запросам покупателей. А это, в свою очередь, достигается за счет оптимизации товарного ассортимента. В связи с этим, для экспериментальной проверки выдвинута гипотеза, что формирование оптимального торгового ассортимента будет способствовать повышению эффективности работы торгового предприятия.*

*Цель - исследование и оптимизация торгового ассортимента.*

**Ключевые слова:** *ассортиментная политика, аналитический стратегия, эффективность, сбыт, ассортиментная позиция, процесс формирования.*

**Введение.** Современный этап развития экономики Луганской Народной Республики характеризуется нестабильностью внешней и внутренней среды функционирования экономических субъектов. Снижение среднего уровня жизни населения приводит, с одной стороны, к общему снижению спроса, сопровождающемуся изменением потребительских критериев оценки товара, а с другой – к росту цен на товары. Положение торговых предприятий осложняется жесткой конкуренцией. Большую роль в конкурентном соперничестве играет ассортиментная политика. Хорошо продуманная ассортиментная политика торгового предприятия позволяет оптимизировать процесс обновления товарного ассортимента и вместе с тем служит для руководства торгового предприятия своеобразным указателем общей направленности развития.

Стратегия, которая разрабатывается для формирования, расширения и изменения ассортимента называется ассортиментной политикой [1]. Ассортиментная политика - одно из самых главных направлений деятельности маркетинга торгового предприятия. Умело проведенный анализ - залог успеха торгового предприятия. Особенно ассортиментная политика значима в условиях жесткой конкурентной среды, когда к товару со стороны потребителя

предъявляются повышенные требования по качеству и ассортименту, и от эффективности работы предприятия по формированию ассортимента товаров зависят все экономические показатели его деятельности. Лидерство в конкурентной борьбе за клиента получает тот, кто наиболее компетентен в ассортиментной политике, владеет методами её реализации и может максимально эффективно ею управлять. Грамотно подобранный ассортимент товаров обеспечивает наиболее эффективную почву для продуктивной деятельности предприятия в целом. Хорошо продуманная ассортиментная политика магазина позволяет оптимизировать процесс обновления товарного ассортимента и вместе с тем служит для руководства торгового предприятия своеобразным указателем общей направленности. Товарный ассортимент должен соответствовать представлениям целевых покупателей.

Хорошо продуманная ассортиментная политика не только позволяет оптимизировать процесс обновления товарного ассортимента, но и служит для руководства торгового предприятия своего рода указателем общей направленности. Формирование и реализация ассортиментной политики необходимы для определения условий безубыточной работы предприятия, управления объемом прибыли и прогнозирования собственных инвестиций в развитие бизнеса.

Ассортиментная политика предполагает:

- установление потребностей покупателей в определенных товарах;
- определение основных показателей ассортимента и проведения анализа его рациональности;
- выявление источников товарных ресурсов, необходимых для формирования рационального ассортимента;
- оценку материальных возможностей организации для выпуска, распределения и/или реализации отдельных товаров;
- определение направлений для формирования оптимального ассортимента. [13].

Ассортиментная политика одновременно определяет производственное направление, сочетание отраслей, специализацию предприятия, либо приобретаться из внешних источников, а затем продаваться, т.е. товары каких видов, подвидов, товарных групп, модификаций марок следует производить и продавать. Целью ассортиментной политики является определение набора товаров, обеспечивающего успешную работу на рынке и прибыльную деятельность предприятия. [8]

Задачи ассортиментной политики:

- удовлетворение запросов потребителей, что соответствует задаче глубокой сегментации и дифференциации рынка;
- оптимальное использование технологических знаний и опыта торгового предприятия;
- оптимизация финансовых результатов торгового предприятия, что предусматривает формирование ассортимента на основе ожидаемой рентабельности и объема прибыли;
- завоевание новых покупателей путем расширения сферы применения существующей производственной программы (такой подход отличается консервативностью, поскольку рассчитан на краткосрочные результаты), предполагает удлинение жизненного цикла устаревающего товара за счет нахождения новых рынков сбыта;
- соблюдение принципа синергизма, т.е. расширение областей производства и услуг торгового предприятия, связанных между собой определенной технологией, единой квалификацией кадров и другой логической зависимостью. Номенклатура товаров должна быть внутренне взаимосвязана, и отдельные товары должны дополнять друг друга. Соблюдение данного принципа обеспечивает экономию издержек на масштабах деятельности за счет взаимной поддержки различных товарных групп или сфер хозяйствования [16].

Роль руководства заключается в том, чтобы умело сочетать финансы предприятия с ассортиментной политикой предприятия, обеспечивающей рост прибыли. Тщательно разработанная ассортиментная политика предприятия служит руководству указателем, генеральным курсом, которым должно идти торговое предприятие, что в свою очередь позволяет сотрудникам предприятия ориентировать свою работу в направлениях, сулящих большую отдачу. Правильный выбор ассортиментной политики предприятия служит своего рода гарантией, что выгодные возможности не будут упущены. Ассортимент предприятия должен быть по возможности широким.

Ассортиментная политика нуждается в изменениях или существенных корректировках, если предприятие располагает избыточными производственными ресурсами либо не все товары рентабельны. Необходимость в корректировке

ассортиментной политики возникает тогда, когда сумма прибыли и уровень рентабельности постоянно уменьшаются, не использованы возможности рынка, на котором недостаточно тех или иных товаров, имеющих спрос.

Сущность управления ассортиментом заключается в предложении товаров, которые клиент хочет купить, и которые ему нужны, в предложении этих товаров в требуемых количествах и вовремя. В наше время практически нет компаний, производящих и предлагающих всего один товар. При обосновании ассортиментной политики рекомендуется исходить из общих правил, предусматривающих одновременный выход на рынок со следующими товарными группами:

- основные - товары, приносящие основную прибыль;
- поддерживающие - товары, приносящие предприятию меньшую прибыль, чем основные, но поступающие на рынок постоянно и поэтому стабилизирующие выручку от продаж;
- стратегические - товары, от которых предприятие ожидает получение значительной прибыли в будущем;
- тактические - товары, призванные стимулировать реализацию основных товарных групп.

Проблемы исследования ассортиментной политики в целом и методов ее оценки нашли свое отражение в трудах многих отечественных ученых, таких, как Баев А.В., Баутов А.Н., Бирюкова С.В., Громовик Б.П., Егоров И.В., Жуковец М.В., Загоруйко Е.М., Клавдиева Е.В., Лебедева Л.В., Леонов А.И., Мищенко Л.А., Немков В.А., Нестеров Е.Л., Ноздрева Р.Б., Одинцова Е.В., Скрипкин А.В., Котлер Ф., Хёршген Х. и др.

Ассортиментная политика занимает одно из главных мест в товарной политике предприятия. Поэтому в экономической литературе анализ сущности ассортиментной политики встречается довольно часто, но авторы не приходят к единому мнению относительно понятия ассортиментной политики предприятия. Большинство определений описывают ассортиментную политику как процесс формирования и реализации наиболее оптимального товарного ассортимента предприятия. В то же время немногие авторы в определениях указывают на цель ассортиментной политики. Такие моменты присутствуют в определениях Ю.К. Гвилдиани, Е. Дихтля и Х. Хершгена, Р.Б. Ноздревой. Некоторые авторы, приводя определение ассортиментной политики, отмечают, что ассортиментная политика должна формировать товарный ассортимент предприятия, нацеленный на удовлетворение потребностей потребителей (Е.В. Ильюшенко, Е. Дихтль и Х. Хершген) или способствовать повышению эффективности использования ресурсов предприятия (определения Ильюшенко Е.В., Минаевой Е.Г., Ноздревой Р.Б.).

Некоторые авторы приводят обе составляющие эффективности ассортиментной политики. Ильющенко Е.В. и Ноздрева Р.Б. достаточно емко характеризуют сущность ассортиментной политики предприятий, отмечая, что в первую очередь это определение набора товарных групп для удовлетворения спроса и получения прибыли. Баев А.В. в своем определении раскрывает инструментарий ассортиментной политики предприятия, а также факторы, влияющие на процесс формирования ассортимента. Но цели ассортиментной политики в определении не рассматриваются. Определение Е. Дихтля и Х. Хершгена указывает только на направленность ассортиментной политики – удовлетворение потребителей. Однако то, что ассортиментная политика должна обеспечить повышение эффективности работы предприятия, не оговаривается.

Это лишь подразумевается в связи с тем, что удовлетворение потребностей рынка повысит эффективность работы предприятия. Но в рыночной экономике не всегда бывает так. Определение Ф.Н. Алескерова достаточно полно отражает обе стороны ассортиментной политики – удовлетворение спроса и соответствие целевым установкам. Целевой установкой любого предприятия является прибыль (рентабельность, объем продаж), поэтому в целом определение ассортиментной политики достаточно полное. Определение Минаевой Е.Г. указывает и на эффективность деятельности предприятия, и на удовлетворение потребителей, то есть отражает цели ассортиментной политики с нескольких сторон.

Таким образом, под ассортиментной политикой понимается комплекс мероприятий по управлению товарным ассортиментом.

Сущность ассортиментной политики как одной из составляющих конкурентоспособности предприятия заключается в том, чтобы торговое предприятие своевременно предлагало определенную совокупность товаров, которая бы, соответствуя в целом профилю его деятельности, наиболее полно удовлетворяла требованиям определенных категорий покупателей и была максимально выгодной для предприятия.

Ассортиментная политика призвана делать ассортимент рыночно-ориентированным и создавать положительные перспективы развития торгового предприятия.

#### Л и т е р а т у р а

1. Котлер Ф., Армстронг Г., Сондерс Д., Вонг В. Основы маркетинга, второе европейское издание. - С-Петербург, 2008 – 428 с.
2. Багиев Г.Л. и др. Маркетинг: Учебник для ВУЗов // Г.Л. Багиев, В.М. Тарасович, Х. Анн: Под общ.ред. Г.Л. Багиева. - М.: ОАО «Издательство «Экономика», 2009 – 312 с.
3. Дихтель Е., Хершген Х. Практический маркетинг. - М., 1995 – 268 с.

4. Котлер Ф. Основы маркетинга. - С-Петербург, АО «Коруна», АОЗТ «Литера плюс», 2004 – 462 с.

5. Лифиц И.М. Теория и практика оценки конкурентоспособности товаров и услуг. – 2001 – 286 с.

6. Маркетинг: Учебник /А.Н. Романов, Ю.Ю. Корлюгов, С.А. Красильников и др.; Под ред. А.Н. Романова - М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 2006 - 560 с.

7. Фатхутдинов Р. Конкурентоспособность России и подготовка кадров/Общество и экономика. – 2008 – 386 с.

8. Хруцкий И.В., Корнеева И.В. Современный маркетинг: настольная книга по исследованию рынка. - М., 2009 – 296 с.

9. Юданов А.Ю. Конкуренция: теория и практика: Учебное пособие; 2-е изд., с испр. и доп. - М.: Ассоциация авторов и издателей «Тандем», Изд-во «ГНОМ-ПРЕСС», 2008 – 290 с.

10. Кардаш В.Я. Маркетингова товарна політика: Навч. посібник. - К.: КНЕУ, 2007 - 156с.

11. Промисловий маркетинг. Теорія та господарські ситуації. Підручник під ред. А.О. Старостіна - К.: «Іван Федоров», 2007. - 400 с.

12. Эванс Дж., Берман Б. Маркетинг: Сокр. пер. с англ./Авт. предисл. и научн.ред. А.А. Горячев. -М.: Экономика, 2010. - 350 с.

13. Всё о маркетинге: Сборник материалов для руководителей предприятий, экономических и коммерческих служб - М.: Азимут-Центр, 2012. - 368 с.

14. Завьялов П.С., Демидов В.Е. Формула успеха: маркетинг (сто вопросов -сто ответов о том, как эффективно действовать на рынке). - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Международные отношения, 2011. - 416 с.

15. Герасимчук В.Г. Маркетинг: теорія і практика: Навчальний посібник.- К.:Вища школа, 2014. - 327 с.

16. Котлер Ф. Маркетинг менеджмент. - СПб.: Питер Ком, 1998. - 896 с.

**Gorbacheva E.V**

#### FORMATION OF THE ASSORTMENT POLICY OF A TRADING ENTERPRISE AND ITS CONTENT

*In this paper, it is considered that for the effective operation of a trading enterprise, it is necessary that the product range most fully meets the needs of customers. And this, in turn, is achieved by optimizing the product range. In this regard, for experimental verification, the hypothesis is put forward that the formation of an optimal trading range will contribute to improving the efficiency of the trading enterprise.*

*The goal is to research and optimize the trading range.*

**Keywords:** assortment policy, analytical strategy, efficiency, sales, assortment position, formation process.

**Горбачева Елена Валериевна**, ассистент кафедры «Маркетинг» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.  
E-mail: gelenna76@gmail.com

**Gorbacheva Elena Valerievna**, assistant of the Department of Marketing, SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Максимов Виталий Владимирович**, доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой «Экономика предприятия» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 14.07.2022

УДК 355.58

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ В ЛУГАНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПЕРВОМ ЭТАПЕ ГРАЖДАНСКОГО КОНФЛИКТА НА ДОНБАССЕ (ДЕКАБРЬ 2013 – ИЮНЬ 2014 гг.)

Дробот А.Н.

### ACTIVITIES OF THE STATE EMERGENCY SERVICE IN THE LUGANSK REGION AT THE FIRST STAGE OF THE CIVIL CONFLICT IN DONBASS (DECEMBER 2013 – JUNE 2014)

Drobot A.N.

*В статье рассматривается деятельность Государственной службы по чрезвычайным ситуациям в Луганской области на первом этапе гражданского конфликта на Донбассе 2014 г. Выделены отдельные этапы деятельности спасателей с ноября 2013 по июнь 2014 г., проанализировано их содержание, охарактеризованы организационные и практические мероприятия, произведенные аварийно-спасательной службой в условиях начала интенсивных боевых действий, а также действия пожарно-спасательных подразделений во время проведения референдума 11 мая 2014 г. и массовых гражданских акций на территории Луганщины.*

**Ключевые слова:** Главное управление Государственной службы по чрезвычайным ситуациям Украины, Луганщина, военно-политический конфликт на Донбассе, аварийно-спасательная служба.

**Введение.** В ноябре 2013 г. в Украине обострился общественно-политический кризис. Причиной очередного всплеска социальной и политической напряженности стало намерение украинского правительства во главе с Н.Я. Азаровым приостановить процесс подписания Соглашения об ассоциации Украины с Европейским Союзом. Решение власти вызвало недовольство определенных групп населения, в частности, молодежи и студенчества киевских высших учебных заведений. В результате в центре Киева была организована массовая акция протеста, вошедшая в историю под названием «Евромайдан».

Гражданское противостояние проявилось в многочисленных столкновениях между националистами и силами милиции. 16 января 2014 г. Верховная Рада Украины приняла ряд законов, предусматривающих ужесточение санкций за участие в массовых беспорядках. Однако подобные решения парламента, не подкрепленные реальными действиями исполнительной власти, не только не привели к снижению социальной и политической напряженности, но и вызвали еще

большее возмущение представителей «Евромайдана». Нагнетали ситуацию регулярно созываемые манифестантами в центре Киева «народные вече», приведшие в январе 2014 г. к массовым столкновениям радикально настроенных протестантов с подразделениями внутренних войск.

События, начавшиеся в Киеве, привели к дальнейшей дестабилизации политической и экономической ситуации в Украине, гибели гражданских лиц и военнослужащих, а в итоге – к антиконституционному перевороту, поставившему государство на грань гражданской войны. Активную роль в военно-политическом конфликте, разгоревшемся на Донбассе весной – летом 2014 г., играли сотрудники областных подразделений Государственной службы по чрезвычайным ситуациям. Несмотря на актуальность темы гражданского конфликта в данном регионе, отдельным аспектам которой посвящены публикации Т.Ю. Анпиловой, В.А. Бельдюгина, С.Ю. Бунтовского, Л.А. Крутовой, В.И. Кузина, М.В. Руденко, Ю.Р. Федоровского, К.В. Черкашина, И.И. Чуприна и др., такая ее проблема, как деятельность МЧС в период обострения военных действий, до сих пор оставалась без внимания исследователей. Целью статьи является анализ деятельности Государственной службы по чрезвычайным ситуациям в Луганской области на первом этапе гражданского конфликта.

**Основная часть.** Начавшийся в Киеве гражданский конфликт отразился на общественно-политической ситуации во всех областях Украины. Население каждой из них по-своему отреагировало на события, происходившие в центре, – в зависимости от политических симпатий и идеологических приоритетов, свойственных его большинству на местах. Так, население Луганской и Донецкой областей выступило категорически против «майдановского» движения, которому противопоставляли свою деятельность многие

общественные и политические организации, выступавшие апологетами идеи «Русского мира». Уже 3 февраля в Луганске была официально зарегистрирована общественная организация «Луганская гвардия», целью которой стало объединение граждан, выступающих против возрождения фашизма, «вмешательства агентов влияния во внутренние дела Украины», отстаивание идеи вступления Украины в Таможенный Союз. Многочисленные акции, организованные участниками организации, – митинг в поддержку «Беркута», «Зона заражения», автопробег и другие – должны были продемонстрировать непринятие идей «евромайдана» населением Луганщины, привлечь молодежь и активистов других патриотических движений к деятельности организации [1, с. 19 – 20].

Но даже на Луганщине, население которой выступило единым фронтом против националистических лозунгов и идей «Евромайдана», не удалось избежать социально-политических конфликтов. Одним из них стало произошедшее 22 февраля 2014 г. столкновение между представителями «Луганской гвардии», установившими для охраны правопорядка палаточный городок у здания Облгосадминистрации, и членами партии «Удар» и «Правый сектор». В последующие дни произошел ряд провокаций, что на фоне обострения политической ситуации в Киеве привело, с одной стороны, к усилению социального напряжения в городе, с другой – к консолидации населения и активизации «антимайдановского» движения в регионе [2, с. 40].

В условиях политической борьбы, характеризовавшейся прямыми вооруженными столкновениями, основной задачей аварийно-спасательных служб Луганской области было не допустить чрезвычайных ситуаций, связанных с гибелью населения, масштабных пожаров и разрушений в ходе протестных акций. Анализ произошедших с ноября 2013 по июнь 2014 г. на территории региона событий позволяет констатировать оперативный характер их реагирования, несмотря на усложненные условия несения службы и влияние субъективных факторов.

В процессе реализации профессиональной деятельности луганских спасателей в указанный период можно выделить четыре этапа, отличающихся по содержанию, но неразрывно связанных друг с другом.

На первом этапе (ноябрь 2013 г. – февраль 2014 г.) руководством Главного Управления (ГУ) ГСЧС в Луганской области был проведен тщательный, всесторонний анализ действий Государственной службы по чрезвычайным ситуациям (ГСЧС) Украины, в частности в западных областях и в городе Киеве, что позволило прийти к следующим выводам:

1. Протестные акции носят масштабный характер; в ходе их организации применяются

зажигательные средства («коктейли Молотова»), осуществляются поджоги зданий.

2. В процессе протестных акций блокируются улицы, проезды, гидранты, что в значительной степени затрудняет прибытие пожарных расчетов к месту тушения пожаров, постановку на гидрант и подвоз воды.

3. Привычные действия спасателей на месте тушения пожаров могут быть осложнены действиями протестующих, что представляет угрозу для жизни пожарных (в ходе протестов периодически применялось оружие), а количество очагов возгорания может быть достаточно большим.

4. Из-за массовых беспорядков возникали значительные перебои, а то и полное отсутствие связи, что в свою очередь приводило к снижению управляемости пожарными расчетами и значительно повышало роль первичных руководителей, которые действовали на месте ликвидации пожара.

5. Вследствие беспорядков в значительной степени снижалось материально-техническое обеспечение подразделений и служб; становилась проблематичной организация заправки горючим транспортных средств и специальных машин, а пожарных автоцистерн – водой, ремонт транспорта и спецоборудования, организация питания личного состава, обеспечения водой; увеличилось повреждение рукавного хозяйства.

6. По причине возникновения сложной пожароопасной обстановки пожарные расчеты переходили на повышенные степени несения службы; возникала необходимость дислокации людей и создания условий для их размещения и отдыха.

7. Возникла угроза блокирования стационарных пунктов управления (здания управления в области и частей на местах), что обуславливало необходимость подготовки запасных пунктов управления и усиления пропускного режима на территории управлений и частей.

На основе сделанных выводов руководство службы по чрезвычайным ситуациям Луганщины прогнозировало усложнение процесса выполнения профессиональных обязанностей личного состава в условиях активных попыток переноса представителями антироссийских сил аналогичных протестных акций на территорию Луганской области в конце 2013 г. – феврале 2014 г. Так, 1 декабря 2013 г. в центре Луганска у памятника Тарасу Шевченко сторонники «Евромайдана» и представители организации «Просвита» пытались провести митинг в поддержку киевских националистических сил, однако большинство жителей Луганска, поддерживающих российский внешнеполитический вектор, дало им решительный отпор. Акция была непродолжительной по времени и не сопровождалась применением зажигательных средств, но тем не менее спасатели были приведены в готовность.

Становилось очевидным, что события, начатые в Киеве, на территории Донбасса пойдут по иному сценарию и противостояние будет не менее жестким. Исходя из сделанных выводов, был проведен ряд организационных и практических мероприятий, что впоследствии в значительной степени оказало позитивное влияние на приведение в готовность аварийно-спасательных сил, в частности:

- был подготовлен заглубленный резервный пункт управления в областном центре и установлены дополнительные средства связи;

- здания городского управления и частей были дооборудованы и обеспечены резервными источниками питания (дизель-электрическими станциями) и средствами связи, в том числе радиостанциями;

- созданы дополнительные запасы материально-технических средств (ГСМ, пожарно-техническое вооружение, специальная форма одежды, оборудование продовольствия, запас бутылкированной воды);

- осуществлена проверка резервных водоисточников и технических средств забора воды;

- на базе Главного Управления были проведены учения и пожарно-штабные тренировки, в ходе которых особое внимание уделялось самостоятельным действиям подразделений при отсутствии централизованного управления;

- в период с февраля по март 2014 г. Управлением государственного пожарного надзора, блоком реагирования были осуществлены проверки функционирования систем оповещения населения об угрозе чрезвычайных ситуаций, противопожарного состояния административных зданий и мест с массовым пребыванием людей;

- Управлением спасательных сил было проверено водное хозяйство (состояние гидрантов, систем подачи воды на объекты, внутренние системы пожаротушения зданий и объектов).

Проверка состояния убежищ и заглубленных пунктов управления показала, что большинство из них находилось в том состоянии, которое не позволяло эксплуатировать и использовать их по прямому назначению. В этот период была предпринята попытка привести их в рабочее состояние. В Главном Управлении ГСЧС был отремонтирован заглубленный пункт управления, восстановлена система вентиляции, оборудованы рабочие места для работы расчетов оперативно-координационного центра, организованы дополнительные рабочие места; обеспечена устойчивая телефонная и радиорелейная связь.

Аналогичные мероприятия проводились в структурных подразделениях, частях и в аварийно-спасательном отряде специального назначения в городе Луганске и поселке Лоскутовка. В частности, были предприняты следующие меры:

- на территорию областного центра передислоцирован тягач повышенной

проходимости, на базе Краз-255, тяжелый гусеничный тягач типа БАТ-2М, а также автомобили с оборудованием пиротехнической группы с небольшим количеством взрывчатых веществ;

- в подразделениях области максимально приведена в готовность техника основных расчетов и техника резерва;

- приведено в рабочее состояние дизельное хозяйство;

- создан запас рукавного хозяйства в АСО СН города Луганска;

- за счет внебюджетных средств в аварийно-спасательном отряде и в подразделениях из расчета на месячную потребность закуплены горюче-смазочные материалы (дизельное топливо, бензин, масла);

- заключены договоры на аренду холодильного оборудования и бутылкированной воды с торгующими предприятиями;

- проведено несколько тренировок по организации управления и связи.

Анализ действий аварийно-спасательных подразделений на первом этапе показал, что руководство и личный состав аварийно-спасательных сил с поставленными задачами в основном справился. Однако дальнейший ход политических событий внес свои коррективы в намеченные управленческие решения.

Второй этап (февраль – 5 апреля 2014 г.) характеризовался началом массовых протестных акций и активным противостоянием проукраинских сил и «антимайдановцев» Луганщины. Уже в первых числах марта 2014 г. начались активные выступления и митинги с лозунгами о непризнании новой власти в Киеве. Так, 9 марта между проукраинскими силами и сторонниками референдума произошли первые столкновения, состоялся первый захват здания Луганской областной государственной администрации. На следующий день была захвачена телекомпания ИРТА. 22 марта 2014 г. состоялся массовый митинг сторонников «антимайдана», закончившийся стычками с их политическими соперниками, а 30 марта в ходе масштабного, многотысячного митинга пророссийских сил в центре Луганска участники акции потребовали от депутатов всех уровней признать незаконной новую украинскую власть. Ситуация накалялась, угрожая новыми столкновениями и создавая благоприятные условия для возникновения чрезвычайных ситуаций.

В этот период руководством Главного Управления ГСЧС в Луганской области была избрана следующая тактика действий: в момент проведения политических акций личный состав и техника приводились в повышенные степени готовности, но к месту событий прибывали они только тогда, когда имела реальная угроза поджогов. На месте проведения акций находились руководители высшего звена Управлений и

подразделений, которые лишь в случае крайней опасности давали команду на выезд пожарно-спасательных подразделений.

Несмотря на напряженный характер протекания протестных акций, со стороны протестующих не было попыток поджогов или агрессивных действий по отношению к пожарным и спасателям. Нахождение на месте событий руководителей высшего звена позволило своевременно реагировать и предотвращать опасные ситуации. Правильность данной тактики подтвердилась в ходе всех акций как в областном центре, так и городах области.

В ходе третьего этапа (11 мая – 2 июня 2014 г.) работа аварийно-спасательных служб Луганщины характеризовалась чрезвычайно напряженной работой спасателей в процессе протестных акций, которые сопровождалась захватом правительственных зданий. В ходе этих мероприятий тактику действий приходилось изменять. Вследствие силового противостояния с обеих сторон возникала реальная угроза пожара при штурме зданий. В подобных случаях перед самым началом акции пожарно-спасательные подразделения направлялись к месту событий и находились неподалеку, в полной готовности к действиям. Пожарные автомобили становились на гидранты, осуществлялась прокладка рукавных линий для подачи воды, личный состав был готов к работе. И только по команде руководителей, которые находились непосредственно на месте событий, силы и средства приступали к действиям по предназначению.

Опыт показал, что тактика действий, выбранная руководством, полностью себя оправдала. Так, 6 апреля 2014 г. при штурме протестующими здания СБУ по улице Советской г. Луганска, загорание на первом этаже было оперативно ликвидировано первичными средствами пожаротушения, а боевые расчеты были в полной боевой готовности подать воду к очагу пожара. По такой же схеме действовали спасатели и при штурме здания МВД, областной государственной администрации, телецентра. Однако на этих местах попыток поджога и применения открытого огня не наблюдалось, и спасательные силы убывали в места постоянной дислокации. На данном этапе пожарно-спасательные силы полностью выполнили задачу по предназначению и не допустили пожаров на местах протестных акций.

Характеризуя четвертый этап деятельности пожарно-спасательной службы (11 мая – 2 июня 2014 г.), можно констатировать, что он был самым напряженным, опасным и носил неожиданный характер. 5 мая 2014 г. решением представителей территориальных громад была определена дата референдума в Луганской Народной Республике. Отдельные участки были открыты в здании ОГА и на территории палаточного городка, расположенного у здания СБУ. Под участок для

голосования оборудовали и одну из палаток бойцов подразделения Армии Юго-Востока.

11 мая в 8.00 на подконтрольной ЛНР территории области были открыты участки для голосования для всех желающих ответить на вопрос: «Поддерживаете ли Вы Акт о государственной самостоятельности Луганской Народной Республики?». В итоге голосования, в котором приняли участие 1375295 человек (75% всех избирателей), более 96% поддержали государственную самостоятельность самопровозглашенной Республики [3, с. 62]. В полдень 12 мая председатель ЦИК Александр Малыхин подвел итоги прошедшего референдума, а вечером этого же дня народный губернатор Валерий Болотов сделал на митинге обращение к народу Луганщины, в котором объявил об образовании нового независимого государства – Луганской Народной Республики [4].

После референдума 11 мая 2014 г. о государственной самостоятельности ЛНР украинское правительство во главе с избранным 25 мая Президентом П.А. Порошенко, нарушая Конституцию страны и нормы международного права приступило к осуществлению силового подавления созданных государственных образований на Донбассе. 22 мая подразделения украинских военных атаковали ополченцев в районе Рубежного и Лисичанска. В ходе боевых столкновений было подожжено здание железнодорожного вокзала в городе Рубежное. Несмотря на продолжавшийся бой, пожарные рубжанского управления прибыли к месту пожара и фактически в условиях боевых действий приступили к его тушению. С этого момента началась регулярная работа пожарных в зоне боевых действий, сопровождаемая серьезным риском для жизни при выполнении функциональных обязанностей.

2 июня 2014 г. военно-воздушные силы Украины нанесли ракетный удар по зданию областной государственной администрации, в котором размещалось правительство Луганской Народной Республики. Во время авианалета неуправляемые ракеты попали не только в здание, но и в сквер имени Героев Великой Отечественной войны. В результате авиаудара погибло 8 мирных граждан и 28 – было ранено [5].

Одна из ракет попала в здание администрации в районе 4-го этажа. Взрыв вызвал горение. После нанесения удара к зданию прибыли аварийно-спасательные подразделения. На месте тушения была развернута автолестница, автоцистерна и пожарные приступили к тушению. Пожар был ликвидирован в кратчайшие сроки.

Параллельно аварийно-спасательные расчеты производили расчистку местности от поврежденных деревьев, освобождая доступ к пострадавшим и погибшим, а также предоставляли помощь медикам при погрузке раненых и оказывали первую

медицинскую помощь легкораненым. Работа осложнялась тем, что самолет СУ-25 барражировал в воздухе и несколько раз заходил на цель. Существовала реальная угроза нанесения повторного удара.

Детали этих событий были детально охарактеризованы начальником караула СГПЧ-1 города Луганска Павлом Рябининым: «В 15 часов 02 минуты в дежурную часть поступило сообщение о нанесении удара самолетом по зданию Луганской областной администрации. Выехал к месту происшествия в составе двух отделений (автоцистерна и автолестница). По прибытию на место мы увидели, что горит помещение в районе четвертого этажа. В результате попадания ракеты был разрушен оконный проем и часть стены здания. Внутри помещения был пожар. По моей команде развернули автолестницу и автоцистерну, подали ствол на тушение пожара, и звено ГДЗС (газо-дымо-защитной службы) в течение 10-15 минут локализовало, а потом окончательно потушило пожар. Мы выбрали решающее направление – тушение пожара. Производили работу согласно своим функциональным обязанностям. По окончании тушения, я доложил на ОКЦ (оперативно-координационный центр), и всеми расчетами начали помогать медикам в эвакуации раненых, в первую очередь тяжелых. Оказывали первую помощь раненым. Работали слаженно и не думали об опасности. Раньше были случаи, когда на пожарах мы сталкивались с гибелью людей, но здесь была совсем другая ситуация. Трудно было поверить, что военный самолет нанесет удар по мирному городу...» [6].

В это же время на квартале «Мирный» г. Луганска произошло боевое столкновение в районе здания управления луганского пограничного отряда, в зоне очень плотной жилой застройки, что могло привести к загоранию жилых многоэтажных домов. Поэтому к месту событий также были выдвинуты спасательные силы и средства для ликвидации возможного загорания, возглавляемые заместителем начальника Главного Управления по реагированию на чрезвычайные ситуации. Спасатели отработали на высоком уровне: быстро ликвидировали загорание, устранили завалы, провели эвакуацию убитых и раненых. Так был получен первый опыт работы при нанесении ударов авиации в условиях боевых действий. Его анализ руководством аварийно-спасательной службы показал, что время проведения работ необходимо максимально сократить, а пожарные должны быть морально и психологически готовы к тому, что работать будут в условиях массовой гибели населения (женщин и детей), а, следовательно, расчеты должны быть укомплектованы медицинскими средствами оказания помощи раненым (перевязочные материалы, кровоостанавливающие средства, средства для переноски раненых).

**Выводы.** Итак, в деятельности спасателей в Луганской области на первом этапе гражданского конфликта на Донбассе 2014 г. можно условно выделить четыре этапа. На первом этапе состоялся глубокий и всесторонний анализ работы аварийно-спасательных служб Государственной службы по чрезвычайным ситуациям Украины, Главных Управлений (управлений) ГСЧС по городу Киеву и западных областей в ходе проведения протестных акций и государственного переворота на Украине. Кроме аналитической работы спасатели Луганщины в этот период провели огромную подготовительную работу по деятельности службы и укреплению материально-технической базы ГУ ГСЧС Луганской области, что впоследствии сыграло значительную роль в готовности к действиям по предназначению пожарно-спасательных подразделений. Второй этап характеризовался работой спасателей по обеспечению безопасности населения и территории в ходе мирных протестов в городе Луганске и области и охватывал период времени с февраля по 5 апреля 2014 г. На третьем этапе службы спасения получили уникальный опыт реагирования при штурме здания СБУ и захвате практически всех, государственных учреждений в городе Луганске и области. Четвертый этап способствовал появлению особенностей работы в условиях боестолкновений и авиаударов.

Таким образом, в период с декабря 2013 по июнь 2014 г. аварийно-спасательные службы Луганской области на основе глубокого анализа событий, происходивших в ходе государственного переворота в Киеве, учитывая опыт спасательных подразделений, работавших на «майдане», сумели подготовиться к проведению действий по предназначению. Была правильно определена тактика действий спасательных расчетов в ходе протестных акций, создана в кратчайшие сроки материально-техническая база. Первый опыт работы пожарных спасателей в условиях нанесения огневого поражения показал, что они готовы к действиям и имеют высокий уровень подготовки.

#### Л и т е р а т у р а

1. Анпилогова Т.Ю. Луганская Народная Республика: история становления государственности: учебное пособие / Т.Ю. Анпилогова, Е.Н. Дятлова; ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко». – Луганск: Книта, 2018. – 184 с.
2. Бахмутский А.П. Русская весна. Луганская гвардия / А.П. Бахмутский. – Луганск: [б.и.]. – 111 с.
3. Бескаравайный О. Хронология подготовки и проведения референдума в ЛНР // Создание Луганской Народной Республики и военные действия на Луганщине глазами участников и очевидцев. Сборник исторических источников. Автор Т.Ю. Анпилогова. – Луганск «Альма-матер», 2015. – С. 60-62.
4. Хронология подготовки и проведения референдума в ЛНР. Фото- и видеоматериалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oleg-beskaraway.livejournal.com/4521.html> (дата обращения: 24.06.2022).

5. Билоус Т. Авиаудар по зданию Луганской ОГА: пять лет непризнания». 31.05.2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: commons.com.ua (дата обращения: 25.06.2022).

6. «Позывной «Донбасс». Авиаудар по зданию ОГА 2 июня 2014 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: YouTube <https://e-news.su/v-novorossii/229054-21-pozyvnoy-donbass-aviaudar-po-zdaniyu-oga-2-iyunya-2014-g.html>.

**Drobot A.N.**

**ACTIVITIES OF THE STATE EMERGENCY SERVICE IN THE LUGANSK REGION AT THE FIRST STAGE OF THE CIVIL CONFLICT IN DONBASS (DECEMBER 2013 – JUNE 2014)**

*The article discusses the activities of the State Emergency Service in the Lugansk region at the first stage of the civil conflict in Donbass in 2014. The author reveals the prerequisites for the emergence of a military-political confrontation in the country, identifies four stages in the activities of rescuers from November 2013 to June 2014, analyzes their content, characterizes the organizational and practical measures taken by the emergency rescue service in the conditions of the beginning of intense hostilities, as well as*

*actions fire and rescue units during the referendum on May 11, 2014 and mass civil actions in the Luhansk region. The factors that determined the specifics of the work of firefighters in extreme conditions of clashes associated with the maximum risk to life, as well as a shortage of technical means and human resources, are shown.*

**Key words:** *main department of the State Emergency Service of Ukraine, Luhansk region, military-political conflict in Donbass, emergency rescue service.*

**Дробот Александр Николаевич**, старший преподаватель кафедры истории и педагогики ГОУ ВО ЛНР «ЛГАУ», г. Луганск.

**E-mail:** stetsyuk\_kv@mail.ru

**Drobot Alexander Nikolaevich**, Senior Lecturer of the Department of History and Pedagogy, State Educational Institution of Higher Education of the LPR «LG AU», Lugansk.

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

*Статья подана 05.07.2022*

УДК 621.3.015.5

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФЕРРОЗОНДОВОГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ****Ильинский Д.И.****ANALYSIS OF METHODS OF FERROSONDE CONTROL OF PARTS****Ilinsky. D.I.**

*Анализ распределения магнитного поля над поверхностью намагниченных ферромагнитных изделий является наиболее эффективным методом контроля качества при производстве деталей ходовой части подвижного состава и в процессе их эксплуатации. При неразрушающем контроле деталей ходовой части подвижного состава на предмет наличия их дефектов широкое применение получил феррозондовый метод измерения магнитных полей. Основной задачей магнитоферрозондового метода контроля является выявление и идентификация поверхностных, подповерхностных и внутренних дефектов деталей ходовой части подвижного состава.*

**Ключевые слова:** феррозондовый контроль, магнитное поле, намагниченное тело, дефектоскопия, ферромагнитное тело.

**Введение.** Идентификация дефектов на основе анализа распределения внешнего магнитного поля, намагниченного ферромагнитного тела в области дефекта, с теоретической точки зрения, является обратной задачей магнитной дефектоскопии. В процессе решения обратной задачи магнитной дефектоскопии итерационными методами на каждом цикле итераций производится сопоставление измеренного магнитного поля с расчетными данными распределения магнитного поля, вызванного наличием дефекта сплошности намагниченного тела. Для осуществления достаточно быстрой и качественной идентификации дефектов сплошности ферромагнитного тела возникает необходимость в совершенствовании методов расчета основных параметров распределения внешнего магнитного поля, намагниченного ферромагнитного тела при наличии дефектов его сплошности непосредственно в зависимости от геометрических параметров дефектов. Это, собственно, является прямой задачей магнитной дефектоскопии, решение которой требует совершенствования существующих методов расчета магнитного поля в нелинейной ферромагнитной среде. Одной из актуальных задач является повышение скорости численных расчетов магнитного поля локальной намагниченной области, содержащей дефект без потери в точности вычисления основных

параметров, косвенно характеризующих исследуемый дефект.

Феррозондовый метод неразрушающего контроля основан на выявлении феррозондовым преобразователем (ФП) внешнего магнитного поля намагниченного изделия с дефектом и преобразовании его в электрический сигнал [1]. Согласно определению ДСТУ 2865-94 [1], локальное магнитное поле, возникающее в зоне дефекта, вследствие магнитной поляризации его границ определяется термином «магнитное поле рассеяния дефекта» (МПРД).

Магнитное поле рассеяния возникает над дефектом вследствие того, что в намагниченной детали магнитные силовые линии, встречая на своем пути дефект, огибают его как препятствие с малой магнитной проницаемостью, в результате чего магнитное поле искажается, отдельные магнитные силовые линии вытесняются дефектом на поверхность, выходят из детали и входят в нее обратно. При этом по обе стороны от трещин, то есть по краям дефекта, возникают местные магнитные полюсы N и S, создающие локальное магнитное поле рассеяния [2] (рис. 1.).

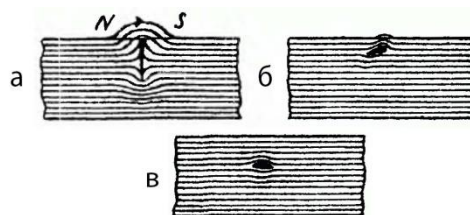


Рис. 1. Магнитное поле рассеяния над дефектом:  
а – поверхностным; б – подповерхностным;  
в – внутренним

Магнитное поле рассеяния в зоне дефекта тем больше, чем больше дефект и чем ближе он к поверхности детали.

Феррозондовый метод служит для выявления поверхностных и подповерхностных (лежащих в толще материала) дефектов типа нарушения сплошности: волосовин, трещин, раковин, закатов, плен и т. п. Метод позволяет контролировать изделия любых размеров и форм, если их отношения длины к наибольшему размеру в поперечном направлении и их магнитные свойства дают возможность

намагничивания до степени, достаточной для создания магнитного поля рассеяния дефекта, обнаруживаемого с помощью ФП.

Феррозондовый преобразователь может состоять из одного или нескольких феррозондов, включенных обычно по схеме градиентомера, что позволяет избавиться от полей помех, уровень градиента которых на порядок ниже. По отношению к поверхности контролируемого изделия феррозонды могут располагаться как вертикально, так и горизонтально.

Феррозондовыми преобразователями осуществляется измерение составляющих напряженности МПРД сплошности намагниченной детали тележки (ДТ).

Устройство обработки информации представляет собой комплекс электронного оборудования по фильтрации, выделению информационных сигналов, поступающих с измерительных преобразователей, и преобразованию их в цифровой код. В состав устройства обработки информации также входит логический программный блок, реализующий цифровую обработку полученной с датчиков информации.

После цифровой обработки сигналов, получаемых ФП в процессе неразрушающего контроля, данные о распределении магнитного поля над поверхностью ДТ поступают в программный модуль. С его помощью на базе программного обеспечения производится идентификация выявляемых дефектов.

Окончательно распределение внешнего магнитного поля намагниченной ДТ и данные о параметрах выявленных дефектов отображаются устройством отображения информации. Посредством анализа характера распределения магнитного поля над поверхностью ДТ оператор-дефектоскопист предварительно может определить наличие дефектов сплошности изделия.

Для качественного феррозондового контроля ДТ в настоящее время является актуальной задача по повышению точности и скорости распознавания дефектов в ферромагнитной среде. Качественное выявление дефектов, то есть отличие его от магнитной неоднородности контролируемой детали, в первую очередь зависит от точности и анализа выходных сигналов феррозонда.

В программном модуле дефектоскопа производится обработка и анализ данных о магнитном поле дефектов, несущих непосредственную информацию о наличии и геометрических параметрах дефекта. Это осуществляется с помощью сопоставления расчетных и измеренных значений параметров МПРД. Расчетные данные получают либо с помощью использования математических моделей, функционально связующих параметры магнитных полей дефектов и их геометрические параметры, либо путем численного моделирования картины магнитного поля в области дефекта.

Расчет МПРД изделия в зависимости от геометрических параметров дефектов и детали, расположения дефектов на изделии и магнитных характеристик материала детали является прямой задачей магнитостатической дефектоскопии.

Для решения прямой задачи магнитной дефектоскопии был создан ряд моделей по расчету МПРД.

Одними из первых моделей, разработанных для анализа МПРД, были модели, основанные на введении магнитных диполей, которые аппроксимировали дефекты определенной формы. В зависимости от формы дефектов применялись аппроксимирующие модели, представляющие собой точечный, линейный и ленточный диполи [3]. Геометрические модели приведены на рис. 2.

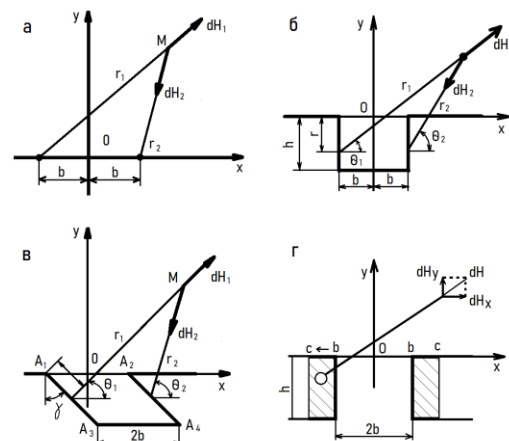


Рис. 2. Геометрические модели, аппроксимирующие дефекты: а – линейный диполь; б – ленточный диполь; в – наклонный диполь; г – сквозная щель

Зачастую получение адекватных результатов расчета МПРД невозможно из-за отсутствия теории и сложности магнитной системы с дефектом. В связи с этим на практике широко используются модели с искусственными дефектами.

Учитывая получившее в последнее время широкое развитие численных методов и технологий, возникает необходимость в анализе численных методов расчета магнитостатических полей в нелинейной ферромагнитной среде, на базе которых представляется возможным производить расчет внешнего магнитного поля, намагниченного ферромагнитного тела.

Численные методы, получившие в последние годы широкое признание, в значительной мере обязаны прогрессу быстродействующих цифровых вычислительных машин, которые позволили исследователям решать с высокой степенью точности задачи по расчету магнитных полей. Без использования ЭВМ такие расчеты были бы чрезвычайно трудоемки или вообще невозможны [4].

В последнее время большое распространение получил метод граничных элементов, который ассоциируется с решением уравнений Максвелла в

интегральной форме [5, 6]. Для решения уравнений Максвелла в дифференциальной форме применяются два метода: конечных разностей (МКР) и конечных элементов (МКЭ).

Метод конечных разностей использует замену дифференциальных уравнений конечно-разностными уравнениями. Основной недостаток этого метода – сложность точного описания границ и оптимального наложения на область расчета конечно-разностной сетки.

Наиболее важные преимущества МКЭ по сравнению с МКР, благодаря которым он широко используется для расчета магнитных полей, состоят в следующем:

1) возможность точного описания криволинейных границ областей;

2) простота изменения дискретизации области в различных ее участках для получения более высокой точности расчетов при наименьшем числе узлов расчетной сетки;

3) возможность задания граничных условий второго рода на границах любой протяженности, а также смешанных граничных условий.

Основная идея МКЭ состоит в том, что любую непрерывную функцию, такую как векторный или скалярный магнитный потенциал, индукцию и т.п., можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей. Решение уравнений поля в МКЭ определяется исходя из условия минимума энергетического функционала или ортогональной путаницы уравнений поля и интерполяционных функций конечных элементов.

Расчет внешнего магнитного поля намагниченной ДТ численными методами позволяет детально проанализировать его распределение над всей поверхностью ДТ. Достаточно сложная форма устройства ДТ, большие размеры расчетной области и наличие сред с разными магнитными проницаемостями требуют большого количества узлов МКЭ при расчете внешнего магнитного поля намагниченной ДТ. Количество узлов, на которые разбивается расчетная область, может достигать нескольких миллионов. Вследствие этого расчет внешнего магнитного поля ДТ является весьма трудоемким.

При численном расчете внешнего магнитного поля намагниченной ДТ в области расположения дефекта, где есть наибольший градиент изменения магнитного поля, производится разбивка на конечные элементы с высокой степенью дискретизации, что влечет за собой значительное увеличение времени расчетов.

**Вывод.** Методы эмпирических аналитических моделей расчета МПРД из-за идеализации условий расчета и пренебрежения геометрическими параметрами и формой ферромагнитного тела не могут обладать высокой точностью и достоверностью. Перспектива применения численных методов

заключается в возможности развития методов аппроксимации основных параметров распределения внешнего магнитного поля намагниченного изделия, реализация которых позволит осуществлять расчет основных параметров МПРД за короткий промежуток времени, что в конечном итоге даст возможность производить точную идентификацию дефектов ферромагнитного тела при неразрушающем контроле.

### Л и т е р а т у р а

1. Ергучёв Л.А. Магнитные методы и средства неразрушающего контроля деталей железнодорожного подвижного состава / Ергучёв Л.А. – Гомель. УО «БелГУТ», 2005. – 90 с. (Пособие).
2. Дякин В.В. Прямая и обратная задачи магнитостатики / В.В. Дякин // Дефектоскопия. – 1996. – № 3. – С. 3 – 6.
3. Зацепин Н.Н. К расчету магнитостатического поля поверхностных дефектов. I. Топография полей моделей дефектов / Н.Н. Зацепин, В.Е. Щербинин // Дефектоскопия. – 1966. – № 5. – С. 50 – 58.
4. Корбан Н.П. Обзор методов и программных пакетов применимо к расчету внешнего магнитного поля ферромагнитного тела, содержащего дефекты / Н.П. Корбан, В.В. Яковенко, В.И. Додонов // Праці Луганського відділення МАТ – 2009. – № 2 (20) Ч. 2. – С. 19 – 23.
5. Бюлент Ю.Ю. Трехмерный анализ магнитных полей методом граничных элементов. Интегрированное инженерное программное обеспечение [электронный ресурс]: (1991, Конференция по ПЭИИД) / Ю.Ю. Бюлент, Б.В. Климпке, К.М. Прасад // Режим доступа: [https://www.integratedsoft.com/documents/tech\\_1ax.pdf](https://www.integratedsoft.com/documents/tech_1ax.pdf).
6. Баженов В.Г. Методы граничных интегральных уравнений и граничных элементов / В.Г. Баженов, Л.А. Игумнов. – М.: Физматлит, 2008. – 352 с.

### Ilinsky. D.I. ANALYSIS OF METHODS OF FERROSONDE CONTROL OF PARTS

*Analysis of the distribution of the magnetic field over the surface of magnetized ferromagnetic products is the most effective method of quality control in the production of parts of the chassis of rolling stock and during their operation. During non-destructive testing of the undercarriage parts of rolling stock for the presence of their defects, the ferrosonde method of measuring magnetic fields has been widely used. The main task of the magnetoferrosonde control method is the identification and identification of surface, subsurface and internal defects of the undercarriage parts of the rolling stock.*

**Key words:** ferrosonde control, magnetic field, magnetized body, flaw detection, ferromagnetic body.

**Ильинский Дмитрий Игоревич**, аспирант кафедры «Электромеханика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**E-mail:** Sultanus.Ilinskiy@yandex.ru

**Ilinsky Dmitry Igorevich**, postgraduate student of the Department of "Electromechanics" SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Резидент: Яковенко Валерий Владимирович**, доктор технических наук, профессор, зав. Кафедрой «Электромеханика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 2.06.2022 года*

УДК 519.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МЕТОДА ЭЙЛЕРА-КРОМЕРА РЕШЕНИЯ ОДУ

Корсунов К.А., Лыштван Е.Ю., Харченко Е.И., Чаленко А.В.

## A STUDY OF THE STABILITY OF THE EULER-CROMER METHOD ODE SOLUTION

Korsunov K.A., Lyshtvan E.Y., Kharchenko E.I., Chalenko A.V.

В работе рассмотрены методы анализа устойчивости разностных схем решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) и систем таких уравнений. Рассмотрены случаи линейных и нелинейных уравнений. Исследованы условия устойчивости разностных схем Эйлера и Эйлера-Кромера для уравнений колебательного типа. Показано, что схема Эйлера в этом случае является абсолютно неустойчивой. Схема Эйлера-Кромера является условно устойчивой, т.е. является устойчивой при величине шага, меньше граничного. Определена величина граничного шага для схемы Эйлера-Кромера. Приведенные результаты численного решения уравнения колебаний при различных величинах шага подтверждают сделанные выводы.

**Ключевые слова:** обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ), численные методы решения ОДУ, метод конечных разностей, разностная схема, устойчивость разностной схемы, схема Эйлера, схема Эйлера-Кромера.

**Введение.** Многие физические системы описываются с помощью обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Это уравнения, которые не содержат частных производных. Для однозначности получаемого решения ОДУ должно быть дополнено начальным условием, т.е. должны быть заданы значения искомой величины в какой-то момент времени и, возможно, ее производных. Обычно выбирается начальный момент, поэтому говорят о *начальном условии* и о *решении задач с начальными условиями*. В некоторых случаях ОДУ можно решить аналитически. Однако, в случае нелинейных уравнений это не всегда возможно. В таких случаях приходится использовать численные методы решения ОДУ. Обычно для численного решения ОДУ используется *метод конечных разностей*, хотя возможно и применение других методов, например, метода конечных элементов. В методе конечных разностей решение уравнения ищется на множестве равноотстоящих точек на оси аргумента. Для вычисления производных используются их разностные аппроксимации. В результате ОДУ заменяется алгебраическим уравнением, которое

позволяет вычислить решение в какой-либо точке по известным значениям решения в предыдущих точках. Такое уравнение называют *разностной схемой*. Разностная схема должна быть *устойчивой*, т.е. ошибки, неизбежно возникающие на каком-либо шаге, не должны в дальнейшем неограниченно возрастать.

Самой простой схемой является схема Эйлера. Несмотря на небольшую точность (первый порядок по шагу) она часто используется, особенно при математическом моделировании и в учебной литературе [1,2]. Однако, как оказалось, схема Эйлера является неустойчивой при решении уравнений колебательного типа [3]. В 1981 году Кроммер предложил простое изменение схемы Эйлера [4], которое делает ее устойчивой.

Несмотря на то, что схема Эйлера-Кромера достаточно широко используется в работах по математическому моделированию и вычислительной физике [1, 2], анализ условий ее устойчивости или ссылки на его результаты, по крайней мере в широко доступной литературе, не приводится. Поэтому проведение такого анализа представляет несомненный интерес.

**Цель работы** заключается в исследовании условий устойчивости разностной схемы Эйлера-Кромера при решении ОДУ колебательного типа.

**Анализ устойчивости схемы Эйлера для одного ОДУ.** При проведении вычислений согласно произвольной разностной схеме ошибка вычислений не должна возрастать по мере увеличения числа шагов. В противном случае через некоторое время эта ошибка совершенно исказит правильный результат. Это требование можно сформулировать следующим образом: *численный метод устойчив, если на любой стадии вычислительной процедуры малая ошибка приводит к меньшей конечной ошибке* [3].

В математической форме это условие можно выразить следующим образом. Рассмотрим произвольную разностную схему для ОДУ. Пусть  $\varepsilon^n$  – возникшая по каким-либо причинам ошибка

решения на  $n$ -ом шаге. Тогда ошибка на следующем,  $n+1$ -ом шаге может быть записана как

$$\varepsilon^{n+1} = g \varepsilon^n. \quad (1)$$

Множитель  $g$  называется *множителем перехода*, а выражение (1) является фактически его определением. Требование невозрастания ошибки

$$|\varepsilon^{n+1}| \leq |\varepsilon^n|$$

позволяет записать условие устойчивости разностной схемы в виде

$$|g| \leq 1. \quad (2)$$

Рассмотрим применение описанной выше методики к анализу устойчивости схемы Эйлера для решения ОДУ [3]

$$\frac{du}{dt} = f(u, t). \quad (3)$$

Разностная схема имеет следующий вид:

$$u^{n+1} = u^n + f(u^n, t^n) \Delta t.$$

где  $\Delta t$  – величина шага.

Введем в схему явным образом ошибки:

$$u^{n+1} + \varepsilon^{n+1} = u^n + \varepsilon^n + f(u^n, t^n) \Delta t$$

и, линеаризуя функцию  $f$  по величине ошибки, считая  $\varepsilon^n$  малым:

$$f(u^n + \varepsilon^n, t^n) \approx f(u^n, t^n) + \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_n \varepsilon^n.$$

получим выражение для множителя перехода

$$g = 1 + \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_n \Delta t. \quad (4)$$

Будем считать, что для уравнения (3) выполняется условие

$$\left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_n < 0.$$

Уравнения такого типа называют «уравнения с затуханием». Из условия устойчивости (2) получаем неравенство

$$\left| 1 + \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_n \Delta t \right| \leq 1,$$

которое приводит к следующему условию для величины шага разностной схемы

$$\Delta t \leq \frac{2}{\left| \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_n \right|}. \quad (5)$$

Таким образом, приходим к выводу, что схема Эйлера будет устойчивой не при любых значениях величины шага. Максимально допустимое значение дается условием (5) при знаке «равно». При больших значениях шага ошибки вычисления будут неограниченно возрастать. Такие схемы называют *условно устойчивыми*.

**Анализ устойчивости схемы Эйлера для систем ОДУ.** В основном нас будут интересовать

уравнения второго порядка, так как основной закон динамики частиц может быть записан как ОДУ второго порядка. Такое уравнение может быть записано как система двух уравнений первого порядка. В качестве примера рассмотрим задачу с начальными условиями для гармонических колебаний маятника или груза на пружинке:

$$\text{ОДУ: } x'' + \omega_0^2 x = 0,$$

$$\text{НУ: } x(0) = x_0, \quad x'(0) = v_0.$$

Введем новую переменную  $v = x'$ . Тогда можем записать систему из двух уравнений первого порядка, эквивалентную данному уравнению:

$$\begin{cases} x' = v \\ v' = -\omega_0^2 x \end{cases} \quad (6)$$

с начальными условиями  $x(0) = x_0, \quad v(0) = v_0$ .

Если ввести двухкомпонентный вектор

$$\mathbf{u} = \begin{pmatrix} x \\ v \end{pmatrix},$$

то полученная система уравнений может быть записана в матричной (или операторной) форме:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{u} = \mathbf{A} \mathbf{u}.$$

Здесь матрица  $\mathbf{A}$  имеет следующий вид:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_0^2 & 0 \end{pmatrix}.$$

Все рассуждения, приведенные выше для одного ОДУ, могут быть легко распространены на случай системы из нескольких ОДУ [3]. Для системы из  $N$  уравнений вводится  $N$ -компонентный вектор ошибки  $\boldsymbol{\varepsilon}^n$ , компонентами которого являются ошибки соответствующих неизвестных функций системы. Система ОДУ заменяется системой соответствующих разностных схем, выражающих значения неизвестных функций на  $n+1$  шаге через значения функций на  $n$ -ом шаге. Полученная система записывается с помощью *оператора перехода*  $\mathbf{T} \Delta t$ , который является функцией величины шага

$$\mathbf{u}^{n+1} = \mathbf{T} \Delta t \mathbf{u}^n.$$

Значения вектора ошибки на  $n+1$  шаге рассчитываются через значения вектора ошибки на  $n$ -ом шаге с помощью *матрицы перехода*  $\mathbf{G}$ , которая определяется соотношением

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{n+1} = \mathbf{G} \boldsymbol{\varepsilon}^n$$

Если оператор перехода линейный, то выполняется соотношение

$$\mathbf{u}^{n+1} + \boldsymbol{\varepsilon}^{n+1} = \mathbf{T} \mathbf{u}^n + \boldsymbol{\varepsilon}^n = \mathbf{T} \mathbf{u}^n + \mathbf{T} \boldsymbol{\varepsilon}^n,$$

откуда получаем

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{n+1} = \mathbf{T} \boldsymbol{\varepsilon}^n,$$

т.е. оператор перехода совпадает с матрицей перехода  $\mathbf{G} = \mathbf{T}$ . В случае нелинейности оператора перехода его необходимо линеаризовать.

Вектор ошибок на  $n$ -ом шаге  $\mathbf{\varepsilon}^n$  можно разложить по *собственным векторам* матрицы перехода  $\mathbf{g}_i$ :

$$\mathbf{\varepsilon}^n = \sum a_i \mathbf{g}_i$$

Тогда вектор ошибок на следующем шаге можно найти как

$$\mathbf{\varepsilon}^{n+1} = \mathbf{G} \mathbf{\varepsilon}^n = \mathbf{G} \sum a_i \mathbf{g}_i = \sum a_i \lambda_i \mathbf{g}_i,$$

где  $\lambda_i$  – *собственные числа* матрицы перехода [5], определяемые соотношением

$$\mathbf{G} \mathbf{g}_i = \lambda_i \mathbf{g}_i.$$

Если для каждого из них выполнено условие

$$|\lambda_i| \leq 1, \quad (7)$$

каждая компонента вектора ошибки на шаге  $n+1$  не будет превышать соответствующую компоненту на предыдущем шаге  $n$ , т.е. разностная схема будет устойчивой. Таким образом, условие устойчивости разностной схемы для системы ОДУ можно сформулировать как требование, чтобы модули собственных чисел матрицы перехода не превышали единицу (отметим, что собственные числа могут быть и комплексными).

**Неустойчивость схемы Эйлера для уравнений осцилляторного типа.** Исследуем с помощью изложенного выше метода устойчивость схемы Эйлера для уравнения гармонических колебаний

$$x'' + \omega_0^2 x = 0$$

Как было показано выше, это уравнение может быть сведено к системе двух ОДУ первого порядка (6). Разностная схема Эйлера для этой системы будет иметь вид:

$$\begin{aligned} x^{n+1} &= x^n + v^n \Delta t \\ v^{n+1} &= v^n - \omega_0^2 x^n \Delta t \end{aligned} \quad (8)$$

или, переходя к матричным обозначениям,

$$\mathbf{u}^{n+1} = \mathbf{T} \mathbf{u}^n,$$

где

$$\mathbf{u} = \begin{pmatrix} x \\ v \end{pmatrix} \quad \text{и} \quad \mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta t \\ -\omega_0^2 \Delta t & 1 \end{pmatrix}.$$

Так как оператор перехода  $\mathbf{T}$  является линейным, то матрица перехода совпадает с ним  $\mathbf{G} = \mathbf{T}$ .

Собственные числа матрицы  $\mathbf{G}$  найдем в среде системы компьютерной математики Mathematica с помощью команды Eigenvalues:

$$\text{In}[2]:= \mathbf{G} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta t \\ -\omega_0^2 \Delta t & 1 \end{pmatrix};$$

$$\text{In}[4]:= \lambda = \text{Eigenvalues}[\mathbf{G}] // \text{Simplify} // \text{ColumnForm}$$

$$\text{Out}[4]= \begin{pmatrix} 1 + i \Delta t \omega_0 \\ 1 - i \Delta t \omega_0 \end{pmatrix}$$

Как видно, собственные числа матрицы  $\mathbf{G}$  даются выражениями

$$\lambda_1 = 1 + i \omega_0 \Delta t, \quad \lambda_2 = 1 - i \omega_0 \Delta t.$$

Они являются комплексно сопряженными и имеют одинаковый модуль

$$|\lambda_{1,2}| = \sqrt{1 + \omega_0^2 \Delta t^2}.$$

Как видно,  $|\lambda_{1,2}| > 1$  для любого значения  $\Delta t$ , т.е. условие устойчивости (7) не выполнено и схема Эйлера в данном случае является абсолютно неустойчивой. Типичная форма получаемого решения приведена на рис.1.

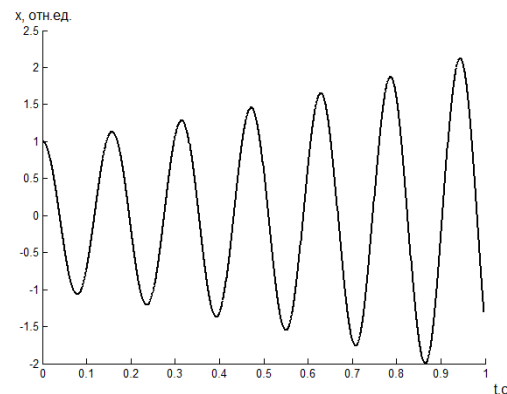


Рис. 1. Типичная форма решения уравнения колебаний методом Эйлера

**Метод Эйлера-Кромера и условие его устойчивости.** Неустойчивость схемы Эйлера может быть связана с тем, что все величины вычисляются в левой точке интервала  $[t^n, t^{n+1}]$  и, вследствие этого, схема является нецентрированной. Кромер [4] предложил простое изменение схемы Эйлера, которое делает ее частично центрированной и, как оказалось, устойчивой. Это изменение сводится к тому, что в первом уравнении системы (8) значение переменной  $v$  вычисляется не в начальной, а в конечной точке шага, т.е. вместо  $v^n$  берется  $v^{n+1}$ . В результате схема приобретает вид:

$$\begin{aligned} x^{n+1} &= x^n + v^{n+1} \Delta t \\ v^{n+1} &= v^n - \omega_0^2 x^n \Delta t \end{aligned} \quad (9)$$

Поскольку величина  $v^{n+1}$  вычисляется только во втором уравнении, то при реализации схемы уравнения надо поменять местами. Окончательно получим:

$$\begin{aligned} v^{n+1} &= v^n - \omega_0^2 x^n \Delta t \\ x^{n+1} &= x^n + v^{n+1} \Delta t \end{aligned} \quad (10)$$

Это и есть схема Эйлера-Кромера. Исследуем условия ее устойчивости. Чтобы записать систему (10) в матричном виде, подставим в первое уравнение значение  $v^{n+1}$  из второго. После элементарных алгебраических преобразований, получим:

$$\begin{aligned} x^{n+1} &= 1 - \omega_0^2 \Delta t^2 x^n + v^n \Delta t \\ v^{n+1} &= -\omega_0^2 \Delta t x^n + v^n \end{aligned}$$

Отсюда сразу получаем выражение для оператора перехода:

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1 - \omega_0^2 \Delta t^2 & \Delta t \\ -\omega_0^2 \Delta t & 1 \end{pmatrix}$$

Вследствие линейности оператора перехода это же выражение будет давать и матрицу перехода  $\mathbf{G}$ .

Найдем собственные числа матрицы перехода:

$$\text{In}[5]: \mathbf{G} = \begin{pmatrix} 1 - \omega_0^2 \Delta t^2 & \Delta t \\ -\omega_0^2 \Delta t & 1 \end{pmatrix};$$

$$\text{In}[6]: \lambda = \text{Eigenvalues}[\mathbf{G}] // \text{Simplify} // \text{Expand} // \text{ColumnForm}$$

$$\text{Out}[6]: 1 - \frac{1}{2} \Delta t^2 \omega_0^2 - \frac{1}{2} \sqrt{-4 + (-2 + \Delta t^2 \omega_0^2)^2}$$

$$1 - \frac{1}{2} \Delta t^2 \omega_0^2 + \frac{1}{2} \sqrt{-4 + (-2 + \Delta t^2 \omega_0^2)^2}$$

Получаем следующие выражения для собственных числа матрицы  $\mathbf{G}$ :

$$\lambda_1 = \left( 1 - \frac{1}{2} \omega_0^2 \Delta t^2 - \frac{1}{2} \sqrt{(\omega_0^2 \Delta t^2 - 2)^2 - 4} \right),$$

$$\lambda_2 = \left( 1 - \frac{1}{2} \omega_0^2 \Delta t^2 + \frac{1}{2} \sqrt{(\omega_0^2 \Delta t^2 - 2)^2 - 4} \right)$$

Проанализируем поведение  $|\lambda_1|$  и  $|\lambda_2|$  в зависимости от величины  $\omega_0 \Delta t$ . При выполнении условия

$$\omega_0^2 \Delta t^2 - 2^2 - 4 < 0$$

или, что равнозначно,

$$\omega_0 \Delta t < 2 \quad (11)$$

выражение под корнем отрицательно и собственные числа являются комплексно сопряженными. Квадрат их модуля равен

$$|\lambda_{1,2}|^2 = \left( 1 - \frac{1}{2} \omega_0^2 \Delta t^2 \right)^2 + \left( \frac{1}{2} \sqrt{4 - \omega_0^2 \Delta t^2 - 2^2} \right)^2 = 1.$$

Таким образом, при выполнении условия для величины шага (11) схема Эйлера-Кромера устойчива.

Если условие (11) не выполнено, то собственные числа действительны. При этом  $|\lambda_1|$  возрастает от единицы с увеличением величины шага, а  $|\lambda_2|$  убывает, стремясь к нулю. За счет роста  $|\lambda_1|$  схема становится неустойчивой. Таким образом, схема Эйлера-Кромера является условно устойчивой.

Проведем графический анализ условий устойчивости. Для этого построим график зависимости модулей собственных чисел от величины шага (рис. 2).

Как видно из графика, область устойчивости разностной схемы Эйлера-Кромера определяется условием  $\omega_0 \Delta t < 2$ , или  $\Delta t < 2 / \omega_0$ , что совпадает с результатами проведенного выше анализа. Отметим, что при этом схема находится на границе устойчивости, поскольку  $|\lambda| = 1$ .

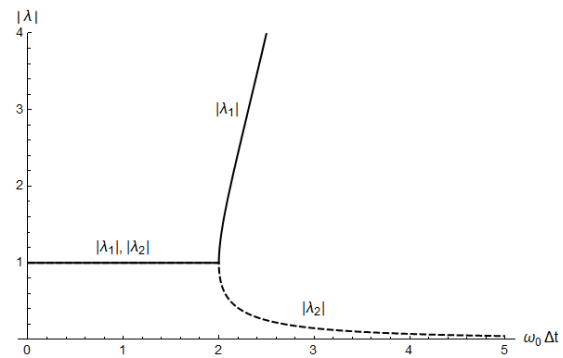


Рис. 2. Зависимость модулей собственных чисел от величины шага

На рис. 3 проиллюстрировано влияние величины шага на результат расчета решения уравнения гармонических колебаний методом Эйлера-Кромера для уравнения

$$x'' + 10^4 x = 0,$$

$$x(0) = 1, x'(0) = 0$$

В данном случае величина  $\omega_0$  равна 100 рад/с, и разностная схема должна быть устойчивой при  $\Delta t < 0.02$  с. На рисунке приведены результаты расчета при величинах шага 0.02, 0.019 и 0.005.

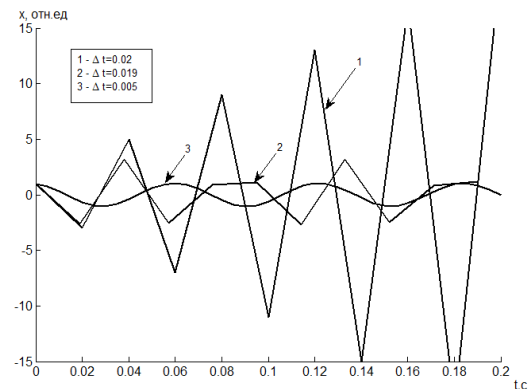


Рис. 3. Влияние величины шага на результат расчета по схеме Эйлера-Кромера

Как видно из рисунка, при  $\Delta t = 0.02$  схема еще неустойчива. При уменьшении шага ( $\Delta t = 0.019$ ), т.е. выполнении условия (11), схема становится устойчивой, но решение еще не похоже на точное. При дальнейшем уменьшении шага ( $\Delta t = 0.005$ ) вид решения приближается к точному.

Процесс приближения численного решения к точному по мере уменьшения величины шага, проиллюстрирован данными рис. 4. На нем представлены результаты численного расчета при различных величинах шага и точное решение.

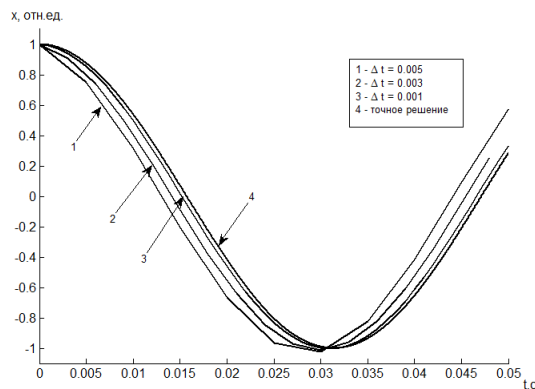


Рис. 4. Сравнение численного и точного решений при различных величинах шага

Приведенные данные показывают, что, численное решение довольно быстро сходится к точному и при  $\Delta t < 0.001$  практически неотличимо от него. Отметим, что такая величина шага в 20 раз меньше максимально допустимого (11). Таким образом, при расчете желательно брать величину шага примерно на два порядка меньше, чем граница устойчивости.

**Выводы.** Проведено исследование устойчивости разностных схемы решения ОДУ колебательного типа методом Эйлера и методом Эйлера-Кромера. Показано, что в этом случае:

- метод Эйлера является абсолютно неустойчивым, т.е. решение расходится при любых величинах шага разностной схемы;
- метод Эйлера-Кромера является условно устойчивым, т.е. решение является устойчивым при величине шага, меньшей  $\Delta t = 2 / \omega_0$ .

Приведены результаты численного решения уравнения колебаний при различных величинах шага разностной схемы, подтверждающие сделанные выводы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике: учебное пособие. Часть 1 / Х. Гулд, Я. Тобочник; пер. с англ. А.Н. Полудова, В.А. Панченко. – М.: Мир, 1990. – 350 с.
2. Giordano N.J. Computational physics / N. J. Giordano, Nakanishi H. – Pearson Prentice Hall, 2006. – 544 с.
3. Поттер Д. Вычислительные методы в физике / Дэвид Поттер; пер. с англ. Г.В. Переверзева; под ред. Ю.Н. Днестровского. – М.: Мир, 1975. – 394 с.
4. Cromer A. Stable solutions using the Euler approximation / A. Cromer // American Journal of Physics, 49, 1981. – pp.455-459.
5. Tam P.T. A physicist guide to Mathematica / P.T. Tam. – Elsevier Ink., 2008. – 749 p.

Korsunov K.A., Lyshtvan E.Y.,  
Kharchenko E.I., Chalenko A.V.

A STUDY OF THE STABILITY OF THE EULER-CROMER METHOD ODE SOLUTION

The article considers methods of analysis of stability of differential schemes of solution of ordinary differential equations (ODE) and systems of such equations. Cases of linear and nonlinear equations are considered. Conditions of stability of Euler and Euler-Cromer difference schemes for oscillatory type equations have been investigated. It is shown that the Euler scheme in this case is completely unstable. The Euler-Cromer scheme is conditionally stable, i.e. stable at a step smaller than the boundary. The value of the boundary step for the Euler-Cromer scheme has been determined. The results of the numerical solution of the equation of oscillations at different step values confirm the conclusions.

**Keywords:** ordinary differential equations (ODE), numerical methods of solving ODE, finite difference method, difference scheme, stability of difference scheme, Euler scheme, Euler-Cromer scheme.

**Корсунов Константин Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: Korsunof@mail.ru

**Korsunov Konstantin**, doctor of technical Sciences, Professor, head of the Department of physics of the SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Лыштван Елена Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры физики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: lustva\_lena@mail.ru

**Lyshtvan Elena**, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of physics of the SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Харченко Евгений Иванович**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: kharchenko\_ei@mail.ru

**Kharchenko Evgenyi**, candidate of physical and mathematical sciences, associate Professor of the Department of physics of the SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Чаленко Анжелика Валериевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры физики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

E-mail: anghiel.anghiel.2014@mail.ru

**Chalenko Anzhelika**, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of physics of the SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения и инженерный консалтинг» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 01.08.2022

УДК 338.2:519.862.5

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И СЦЕНАРНЫЙ АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ ОРГАНИЗАЦИИ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «НПО «ЯМЗ»)

Мызникова М.А.

## MODELING AND SCENARIO ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF ADAPTIVE STRATEGIES OF AN ORGANIZATION FUNCTIONING UNDER UNCERTAINTY (ON THE EXAMPLE OF LLC «SPA «YMZ»)

Myznikova M.A.

*В статье аргументирована реализация сценарного анализа в рамках реализации отдельных адаптивных стратегий. Определены стратегии, приоритетные для ООО «НПО «ЯМЗ», а также сформированы сценарии в соответствии с указанными стратегиями. На основе разработанной ранее системно-динамической модели проведено планирование и реализация экспериментов в рамках сценарного анализа. В рамках реализации сценариев осуществлено прогнозирование реакции системы на изменение управленческих воздействий и проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами реализации инерционного сценария.*

**Ключевые слова:** стратегическое управление, неопределенность, адаптивная стратегия, сценарный анализ.

**Введение.** Современные условия функционирования организаций Донецкой Народной Республики сопряжены с высоким и возрастающим уровнем неопределенности. В таких условиях применение традиционных методов стратегического управления оказывается малоэффективным.

В этой связи, было предложено [1] использование специфических групп методов, одним из которых выступает сценарный анализ.

Вопросам применения сценарного анализа в практике стратегического управления организацией посвящены труды ряда исследователей, среди которых Гегечкори О.Н. [2], Горяйнова М. Ю. [3], Гришин И. Ю. [4], Семенихина М.В. [2], Тимиргалеева Р.Р. [4], Ходыревская В. Н. [3] и др. В то же время, применение сценарного анализа для оценки эффективности реализации адаптивных стратегий организаций, функционирующих в специфических условиях ДНР, сопряженных с

высоким уровнем неопределенности, освящено недостаточно.

В этой связи, целью исследования является повышение эффективности инструментария стратегического управления организацией, функционирующей в условиях неопределенности посредством реализации сценарного подхода в контексте выбора адаптивных стратегий.

### **Изложение основных материалов.**

Сценарный анализ, выступая инструментальным базисом, составляющим методическую основу авторского механизма [5], нацелен на повышение однозначности управления. При этом однозначность управления достигается посредством прогнозирования реакции системы на изменение управленческих воздействий с использованием инструментария системно-динамического моделирования. В качестве базиса для такого моделирования предлагается использовать разработанную автором и описанную в [5] системно-динамическую модель стратегического управления организацией в условиях неопределенности, реализованную на примере данных ООО «НПО «ЯМЗ». В этой связи, сценарный анализ адаптивных стратегий также целесообразно осуществлять на примере данных ООО «НПО «ЯМЗ».

Как известно, выбор управленческих воздействий во многом определяется выбором стратегии управления, что предопределяет целесообразность рассмотрения сценариев в рамках реализации отдельных адаптивных стратегий. В этой связи, были определены стратегии, приоритетные для ООО «НПО «ЯМЗ». К ним отнесены: стратегия концентрации; стратегия диверсификации. В соответствии с указанными стратегиями сформированы 4 сценария (табл. 1).

Таблица 1

**Планирование экспериментов с системно-динамической моделью стратегического управления промышленными предприятиями в условиях неопределенности в рамках сценарного анализа (на примере ООО «НПО «ЯМЗ»») (составлено автором)**

| № эксперимента | Адаптивная стратегия     | Тип адаптации                            | Управленческие воздействия                                                | Масштаб изменений |
|----------------|--------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Сценарий 1а    | стратегия концентрации   | пассивная адаптация типа самоорганизация | снижение цен на рынке РФ                                                  | на 10%            |
| Сценарий 1б    |                          |                                          | рост качества (и расходов на систему менеджмента качества)                | на 5%             |
| Сценарий 1в    |                          |                                          | рост маркетинговых расходов на рынке РФ                                   | на 20%            |
| Сценарий 2     | стратегия диверсификации | активная адаптация типа переориентация   | рост объемов спроса на отдельных рынках (и рост соответствующих расходов) | на 22%            |

Отметим, что в некоторых случаях возможным является как совместное комплексное использование, так и использование отдельных управленческих воздействий опосредованно друг от друга.

**Результаты исследований.** Использование рычага снижения цен в рамках реализации стратегии концентрации на рынке РФ, привело к формированию Сценария 1а, результаты моделирования которого приведены на рис. 1-3.

Как видно из рис. 1, снижение цены на рынке РФ имеет следствием рост объема реализации. При этом, динамика доходов имеет тенденцию к сокращению в начале моделирования Сценария 1а, сменяясь впоследствии тенденцией к росту (рис. 2). Следует отметить, что запаздывание динамики доходов от основной деятельности по сравнению с динамикой объема реализации связано со средней длительностью процессов производства и реализации.

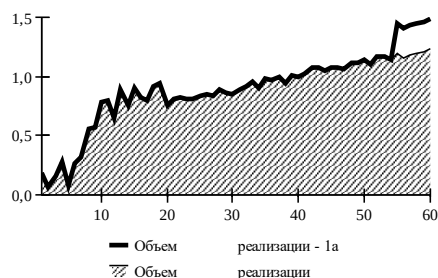


Рис. 1. Сравнительный анализ прогноза динамики объема реализации ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 1а (Составлено автором по результатам исследования)



Рис. 2. Сравнительный анализ прогноза динамики доходов от основной деятельности ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 1а (Составлено автором по результатам исследования)

Аналогичное запаздывание можно наблюдать и в динамике финансового результата (рис. 3).

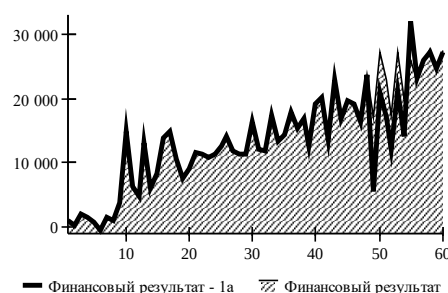


Рис. 3. Сравнительный анализ прогноза динамики финансового результата ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 1а (Составлено автором по результатам исследования)

Как видно из рис. 3, динамика финансового результата иллюстрирует снижение по отношению к инерционному периоду. При этом, значительное снижение наблюдается в начале моделирования Сценария 1а, сменяясь впоследствии тенденцией к сближению с динамикой, полученной в рамках инерционного сценария, но не достигая ее.

Таким образом, из результатов реализации Сценария 1а можно сделать вывод, что снижение цены на рынке РФ, приводя к негативным прогнозным тенденциям в начале проведения эксперимента, сопровождается достижением позитивных результатов впоследствии, что отражается в росте объемов реализации и доходов. В то же время, динамика финансового результата при реализации указанного сценария на всем периоде моделирования не достигает значения инерционного сценария.

Проанализировав результаты реализации Сценария 1а, целесообразность приобретает анализ результатов Сценария 1б, состоящего в повышении уровня качества на 5% (рис. 4-7).

Моделирование в рамках указанного сценария привело к прогнозируемому росту объема реализации по сравнению с инерционным сценарием (рис. 4), пропорционально отразившись и на объеме доходов от основной деятельности (рис. 5).

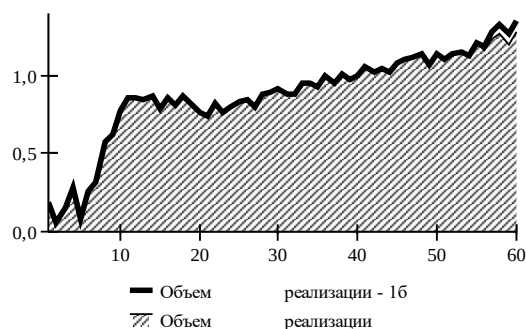


Рис. 4. Сравнительный анализ прогноза динамики объема реализации ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 16 (Составлено автором по результатам исследования)

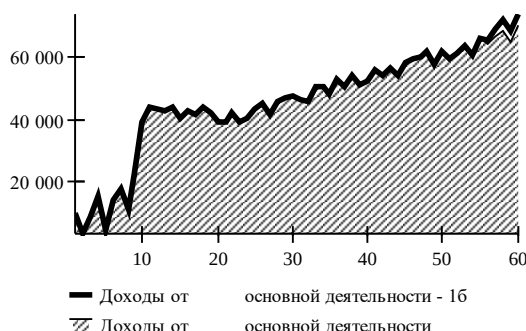


Рис. 5. Сравнительный анализ прогноза динамики доходов от основной деятельности ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 16 (Составлено автором по результатам исследования)

В то же время, соответствующий рост качества требует от предприятия дополнительных расходов, что нашло отражение в динамике совокупных расходов (рис. 6).



Рис. 6. Сравнительный анализ прогноза динамики совокупных расходов ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 16 (Составлено автором по результатам исследования)

В результате роста как доходов, так и расходов, финансовый результат деятельности, полученный в ходе реализации Сценария 16, иллюстрирует динамику, схожую с динамикой реализации инерционного сценария (рис. 7). Таким образом, изменения финансового результата в результате

реализации Сценария 16 по сравнению с результатами реализации инерционного сценария очень незначительны.

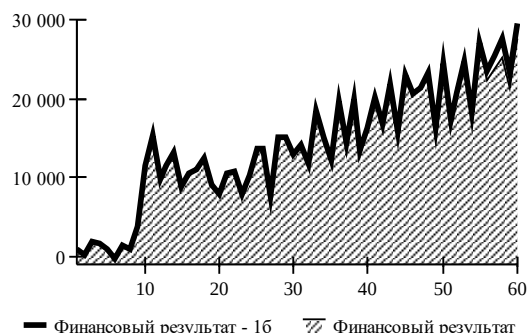


Рис. 7. Сравнительный анализ прогноза динамики финансового результата ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 16 (Составлено автором по результатам исследования)

Таким образом, моделирование Сценария 16, состоящего в повышении уровня качества с целью реализации стратегии концентрации, позволило сделать вывод, что, несмотря на значительные расходы на повышение уровня качества, результаты такого повышения сопровождаются ростом доходов и финансового результата.

Еще одним рычагом влияния/управленческим воздействием в рамках стратегии концентрации является рост маркетинговых расходов, заложенный в Сценарий 1в. Результаты реализации указанного сценария представлены на рисунках 8-12.

Рост маркетинговых расходов на рынке РФ имеет следствием значительный рост спроса на данном рынке. Как следствие, прогнозируется рост объема реализации (рис. 8) и доходов от основной деятельности (рис. 9).

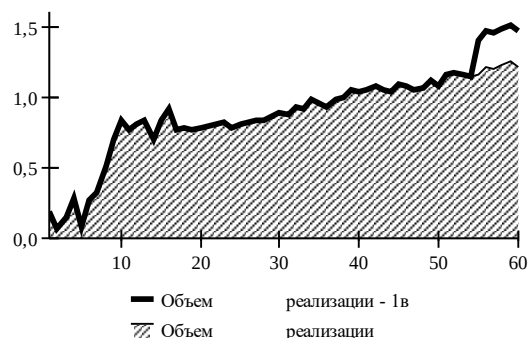


Рис. 8. Сравнительный анализ прогноза динамики объема реализации ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 1в (Составлено автором по результатам исследования)

Очевидно, что рост маркетинговых расходов отражается на росте совокупных расходов как напрямую, так и опосредованно за счет роста объема реализации (рис. 10).



Рис. 9. Сравнительный анализ прогноза динамики доходов от основной деятельности ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 1в (Составлено автором по результатам исследования)

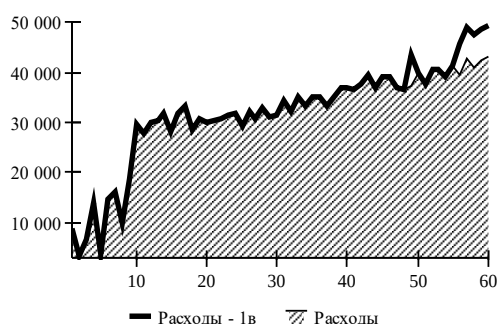


Рис. 10. Сравнительный анализ прогноза динамики совокупных расходов ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 1в (Составлено автором по результатам исследования)

Как видно из рис. 10, наблюдается два скачка роста расходов. Первый из них вызван исключительно ростом маркетинговых расходов, а второй – как ростом маркетинговых расходов, так и ростом объемов производства и реализации. Такая динамика вызвана лагом запаздывания роста объемов реализации за ростом маркетинговых расходов.

Динамика доходов и расходов предопределила динамику финансового результата (рис. 11).

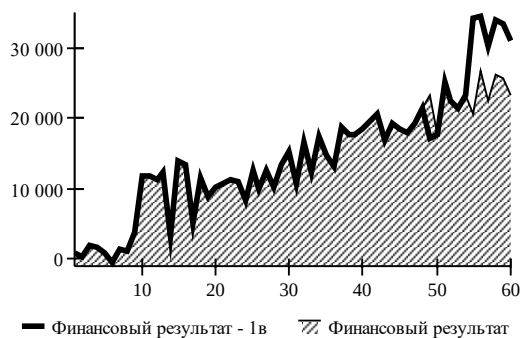


Рис. 11. Сравнительный анализ прогноза динамики финансового результата ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 1в (Составлено автором по результатам исследования)

Как видно из рис. 11, прогноз динамики финансового результата ООО «НПО «ЯМЗ» в начале реализации сценария имел тенденцию к сокращению по отношению к инерционному сценарию, что объясняется запаздыванием динамики доходов за динамикой расходов. В то же время, в последующие периоды динамика финансового результата, полученная в результате реализации Сценария 1в, значительно превосходит динамику, полученную в результате реализации инерционного сценария.

Сценарий 2 предполагает выход на новый товарный рынок на территории РФ, что потребует значительных единовременных расходов, а также приведет к увеличению совокупных расходов в будущем, связанных с увеличением спроса (рис. 12). При этом, реализация Сценария 2 предполагает прогнозное увеличение уровня спроса на рынке РФ в связи с выходом на новый товарный рынок и, как следствие, рост объемов реализации (рис. 13).

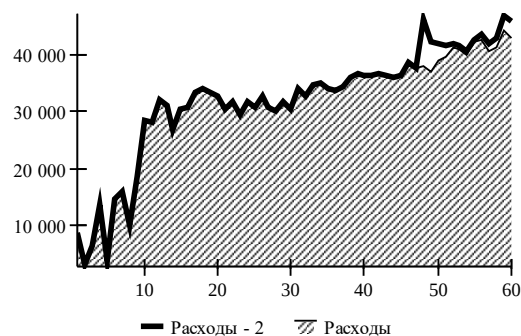


Рис. 12. Сравнительный анализ прогноза динамики совокупных расходов ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 2 (Составлено автором по результатам исследования)

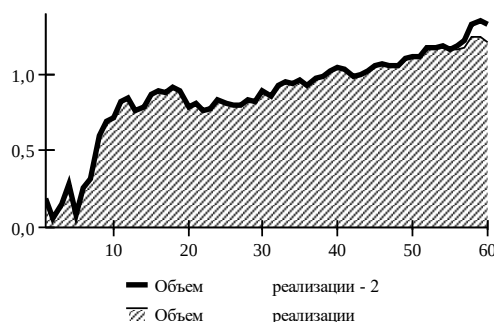


Рис. 13. Сравнительный анализ прогноза динамики объема реализации ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 2 (Составлено автором по результатам исследования)

Изменение динамики объема реализации в рамках Сценария 2 предопределило изменение доходов от основной деятельности (рис. 14).



Рис. 14. Сравнительный анализ прогноза динамики доходов от основной деятельности ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 2 (Составлено автором по результатам исследования)

Как видно из рисунка 14, выход на новый товарный рынок, предусмотренный Сценарием 2, предопределил существенный рост доходов, начиная с 55 периода моделирования.

Динамика доходов и расходов нашла отражение в изменении прогноза динамики финансового результата ООО «НПО «ЯМЗ» (рис. 15).



Рис. 15. Сравнительный анализ прогноза динамики финансового результата ООО «НПО «ЯМЗ» в результате реализации инерционного сценария и Сценария 2 (Составлено автором по результатам исследования)

Как видно из рисунка 15, прогноз динамики финансового результата, полученный в результате реализации Сценария 2, в 49-54 модельный периоды имел существенный спад по отношению к прогнозу, полученному в результате реализации инерционного сценария. Такая динамика объясняется значительными единовременными расходами предприятия, связанными с производством новой продукции и выходом на новый товарный рынок. В то же время, начиная с 56 модельного периода, динамика прогноза финансового результата, полученного в результате реализации Сценария 2, претерпела существенные изменения и в значительной мере превзошла динамику, полученную в результате инерционного сценария.

**Выводы.** Таким образом, в рамках исследования осуществлено планирование и реализация экспериментов с авторской системно-

динамической моделью стратегического управления организацией в условиях неопределенности с применением инструментария сценарного анализа на примере данных ООО «НПО «ЯМЗ». Так, сформировано и реализовано четыре экспериментальных сценария (Сценарий 1а, Сценарий 1б, Сценарий 1в, Сценарий 2) в рамках двух различных адаптивных стратегий: стратегии концентрации и стратегии диверсификации. В рамках реализации указанных сценариев осуществлено прогнозирование реакции системы на изменение управленческих воздействий и проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами реализации инерционного сценария, что позволяет повысить однозначность управления. В то же время, выбор конкретных стратегий и соответствующих им управленческих воздействий обуславливает актуальность оценки их экономического эффекта и эффективности.

### Л и т е р а т у р а

1. Мызникова М.А. Развитие инструментов снижения неопределенности и управления энтропией в контексте достижения траектории устойчивого развития предприятия / М.А. Мызникова // Инновационные перспективы Донбасса: материалы 8-й Международной научно-практической конференции (Донецк, 24-26 мая 2022 г.). – Том 5: Актуальные проблемы инновационного развития экономики Донбасса. – Донецк: ДОННТУ, 2022. – С. 208-212.
2. Семенихина М.В., Гегечкори О.Н. Использование методов сценарно-стратегического анализа и планирования в управлении организацией [Электронный ресурс] / М.В. Семенихина, О.Н. Гегечкори // Вестник молодежной науки. – 2020. – №1 (23). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-metodov-stsenarno-strategicheskogo-analiza-i-planirovaniya-v-upravlenii-organizatsiyey>.
3. Ходыревская В. Н., Горяйнова М. Ю. Формирование модели выбора наилучшего стратегического решения с использованием нотации iDef0 методики сценарного менеджмента [Электронный ресурс] / В. Н. Ходыревская, М. Ю. Горяйнова // Политика, экономика и инновации. – 2019. – №2 (25). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-modeli-vybora-nailuchshego-strategicheskogo-resheniya-s-ispolzovaniem-notatsiiidef0imetodiki-stsenarnogo-menedzhmenta>.
4. Тимиргалеева Р.Р., Гришин И. Ю. Бизнес-модель реализации стратегического плана инновационного развития предприятия на основе сценарного подхода [Электронный ресурс] / Р.Р. Тимиргалеева, И. Ю. Гришин // *π-Economy*. – 2016. – №4 (246). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/biznes-model-realizatsii-strategicheskogo-plana-innovatsionnogo-razvitiya-predpriyatiya-na-osnove-stsenarnogo-podhoda>.
5. Мызникова М.А. Стратегическое управление организацией в условиях неопределенности: механизмы и инструменты: монография / М.А. Мызникова – Донецк: ГБУ «Институт экономических исследований», 2022. – 366 с.

**Myznikova M.A.**

**MODELING AND SCENARIO ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF ADAPTIVE STRATEGIES OF AN ORGANIZATION FUNCTIONING UNDER UNCERTAINTY (ON THE EXAMPLE OF LLC «SPA «YMZ»)**

*The article argues for the implementation of scenario analysis as part of the implementation of individual adaptive strategies. Priority strategies for LLC "Scientific and Production Association "Yasinovatsky Machine-Building Plant" were determined, and scenarios were formed in accordance with these strategies. On the basis of the previously developed system-dynamic model, the planning and implementation of experiments in the framework of scenario analysis was carried out. As part of the implementation of the scenarios, the forecasting of the system's response to a change in managerial influences was carried out and a comparative analysis of the results obtained with the results of the implementation of the inertial scenario was carried out.*

**Keywords:** *strategic management, uncertainty, adaptive strategy, scenario analysis.*

**Мызникова Мария Александровна**, к.э.н., старший научный сотрудник отдела моделирования экономических систем ГБУ «Институт экономических исследований», г. Донецк, ДНР.

**E-mail:** maryalex.myz@gmail.com

**Myznikova Maria Aleksandrovna**, Candidate of Economic Sciences, Senior Research Associate of the Economic Systems Modeling Department, State Budgetary Institution "Economic Research Institute", Donetsk, DPR

**Рецензент: Балашова Раиса Ивановна**, доктор экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и маркетинга ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет».

*Статья подана 12.07.2022*

УДК 53:372.8

## РОЛЬ КУРСОВЫХ РАБОТ В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ФИЗИКА»

Харченко Е.И., Чаленко А.В., Лыштван Е.Ю.

### ABOUT COURSE WORK IN THE PREPARATION OF STUDENTS OF THE SPECIALTY "PHYSICS"

Kharchenko E.I., Chalenko A.V., Lyshtvan E.Y.

*В работе рассмотрены вопросы формирования научно-исследовательских компетенций студентов-физиков в процессе выполнения курсовых работ. Показано, что выполнение курсовых работ по дисциплинам будет стимулировать научно-исследовательскую деятельность студентов, развивать их исследовательские умения.*

**Ключевые слова:** курсовая работа, исследовательские умения, профессиональные компетенции, проектный подход, творческие задания.

**Введение.** В современных условиях в процессах образования в высшей школе актуальными становятся такие задачи, как внедрение в образовательный процесс современных инновационных педагогических технологий, призванных к формированию творческой личности, способной к профессиональному саморазвитию, к готовности к профессиональной деятельности.

К таким инновационным технологиям относятся проектный и компетентностный подходы. Целью компетентностного подхода является формирование у студента набора компетенций, соответствующего выбранной специальности [1]. При этом подходе формулируется компетентностная модель, соответствующая каждой специальности и содержащая ряд компетентностей, в частности «обще профессиональные компетенции» и «профессиональные компетенции» [2]. Профессиональные компетенции включают в себя компетенции, в частности, в области «научно-исследовательской деятельности» и другие.

Проектное обучение определяется как «деятельность, в результате которой студенты обучаются путем вовлечения в решение реальных задач и при этом несут определенную ответственность за организацию образовательного процесса» [3].

Цель проектного метода: развивать познавательные интересы; интеллектуальные, творческие и коммуникативные способности студентов, определяющие формирование компетентной личности, способной к самоопределению и жизнедеятельности в

информационном обществе, ясно представляющей свои ресурсные возможности и способы реализации выбранного жизненного пути [4]. С точки зрения формирования профессиональных компетенций в научно-исследовательской области у студентов физиков большую роль играют научно-исследовательские проекты, к которым можно отнести выполнение курсовых работ [6].

**Изложение основного материала.** Выпускник, освоивший программу бакалавриата, должен обладать следующими общепрофессиональными и профессиональными компетенциями:

способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей (ОПК-2);

способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);

способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1);

способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта (ПК-2);

готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований (ПК-3);

способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин (ПК-4);

способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований (ПК-5).

Для формирования этих компетенций должны использоваться современные образовательные технологии и концепции, в частности проектный подход [5]. К основным формам организации образовательного процесса при подготовке студентов-физиков можно отнести следующее: общий физический практикум, практика, курсовое проектирование, совместные научно-исследовательские работы студентов и преподавателей по темам, направленным на решение реальных практических и научных задач.

Важное внимание среди этих форм уделяется выполнению курсовых работ. Для того чтобы стать полноценными специалистами, студенты в период обучения в вузе должны овладеть методами и приемами научных исследований. С этой целью в учебные планы вводятся помимо практик и научно-исследовательской работы, курсовые работы по различным дисциплинам. Выполнение курсовых работ подготавливает студентов к ведению самостоятельных научных исследований, укрепляет и расширяет знания по направлению или специальности, вырабатывает навыки проведения научных исследований.

Курсовые работы носят исследовательский и творческий характер. Целью курсовых работ является определение глубины и тщательности изучения студентами разделов курсов специализации и умения применять их на практике.

Перечислим основные задачи курсовых работ:

- расширить, систематизировать и закрепить полученные студентами теоретические знания по дисциплине, научить применять эти знания для постановки и решения научно-исследовательских задач;

- развивать у студентов навыки самостоятельной работы, умения критически анализировать научную литературу, находить творческие подходы к выполнению научной работы;

- помочь студентам овладеть современными методами выполнения научного исследования, методами обработки и анализа полученных результатов, а также освоить современные методики планирования научных исследований.

Как правило, темы курсовых работ могут являться составной частью научно-исследовательской деятельности кафедры. Они должны разрабатываться ведущими преподавателями и утверждаться на заседании кафедры. Тематика курсовых работ должна соответствовать задачам читаемых дисциплин и требованиям науки, содержать определенные элементы новизны. Для того чтобы избежать повторения из года в год одних и тех же заданий на курсовые работы, снижающих их учебную и научную ценность, список тем курсовых работ должен ежегодно обновляться.

Курсовые работы должны способствовать закреплению и обобщению знаний, полученных при изучении соответствующей дисциплины,

применению этих знаний к комплексному решению конкретных научных задач, поставленных в задании к курсовой работе, правильному оформлению математических расчетов и научной документации, а также способности участвовать в творческих научных дискуссиях.

Главная цель курсовых работ – это подготовка студентов к выполнению более сложной задачи – написанию квалификационной работы.

Написание курсовой работы по конкретной дисциплине преследует несколько целей:

- проверить усвоение студентом основных положений курса, умение пользоваться стандартными методами построения и анализа математических моделей, в том числе и численными методами;

- привить навыки самостоятельной работы по изучению отдельных вопросов и разделов физики, которые являются темами курсовых работ;

- научить студента самостоятельно работать с научной литературой – провести поиск литературы по заданной тематике, анализировать ее и составить краткий обзор;

- научить студентов оформлять результаты работы в общепринятой среди физиков форме, близкой к форме научной статьи или отчета.

Курсовые работы могут быть как теоретического характера, так и экспериментального, или сочетать элементы и теоретических исследований, и экспериментальных.

При написании курсовой работы теоретического характера можно придерживаться следующей структуры.

#### 1. Введение. Цель работы.

Здесь необходимо объяснить, зачем выполняется данная работа, чем интересна рассматриваемая проблема с точки зрения физики. Должна быть сформулирована основная цель работы. Здесь же должен содержаться краткий обзор литературы.

#### 2. Математическая модель.

В этом разделе должны быть сформулированы основные положения математической модели рассматриваемого процесса или явления. Особое внимание следует уделить анализу упрощений, сделанных при формулировке модели, т.е. условий, при которых модель справедлива. Необходимо сравнить эти условия с реальными условиями протекания процесса или работы системы. Должны быть выписаны математические уравнения модели, граничные и начальные условия.

#### 3. Исследование модели.

В этом разделе необходимо выбрать и обосновать метод решения уравнений модели (обычно численный), составить разностную схему решения и программу для ЭВМ, реализующую эту схему. При составлении программы дать по возможности полный комментарий для основных блоков программы. Если программа сложная по структуре, можно вначале привести ее блок-схему.

Работоспособность написанной программы следует проверить на каком-либо очень простом примере, когда поведение процесса или системы является очевидным.

После этого должны быть приведены результаты исследования для условий, оговоренных при построении модели.

#### 4. Анализ результатов.

В этом разделе необходимо обсудить полученные результаты. Сравнить их с ожидаемыми из общефизических соображений и с другими аналогичными результатами, если они имеются. Сделать вывод о возможности применения результатов исследования. Обсудить пути развития и усложнения принятой математической модели.

#### 5. Заключение.

В заключении должны быть кратко сформулированы основные результаты, полученные в работе, и сделанные на основе их анализа выводы.

В случае экспериментальной работы структура может иметь следующий вид:

##### 1. Введение.

2. Обзор литературы. Здесь описывается история вопроса, теория явления и возможные модели. Дается обзор известных экспериментальных работ, формулируются цели и задачи исследования.

3. Экспериментальная часть. Описывается экспериментальная установка, образцы для исследования. Приводятся результаты экспериментов, сравнение с расчетными данными.

4. Анализ результатов исследований. В этом разделе проводится сравнение экспериментальных и теоретических данных, анализ сравнения и причины расхождений. Возможно проведение дополнительных расчетов к предлагаемым моделям.

5. Заключение. Приводятся общие выводы по работе и предложения по дальнейшим экспериментам.

В качестве примера приводим возможные темы курсовых работ по дисциплине «Колебания и волны»:

1. Колебания в системе двух связанных осцилляторов.

2. Колебания в упорядоченных структурах

3. Колебания в ансамбле невзаимодействующих осцилляторов.

4. Автоколебания в многочастотных системах.

5. Самоорганизация. Основные явления, модели, математические образы.

6. Математические модели колебательных систем.

7. Квазилинейные динамические системы.

Пример плана курсовой работы:

Тема: Хаос в колебаниях математического маятника.

##### 1. Введение.

Цель работы заключается в демонстрации существования режима хаотических колебаний в движении математического маятника и

количественного определения условий, при которых он возникает.

Сформулировать задачи исследования: 1) создать математическую модель движения математического маятника под действием внешней силы, зависящей от времени; 2) разработать методику численного решения нелинейного дифференциального уравнения; 3) написать программу решения уравнения модели; 4) методом вычислительного эксперимента исследовать поведение системы.

#### 2. Обзор литературы.

Рассмотреть методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений: метод Эйлера; Метод Эйлера-Кромера и его разновидности; схему Эйлера-Кромера для уравнения затухающих колебаний; численные методы для построения графиков зависимостей.

3. Вынужденные колебания математического маятника. Переход к хаотическому режиму.

##### 3.1. Математическая модель.

В этом разделе должны быть сформулированы основные положения математической модели движения математического маятника под действием внешней силы. Также необходимо разработать методику численного решения нелинейного дифференциального уравнения модели; написать программу численного решения уравнения математической модели и визуализации результатов решения в среде компьютерной математики Matlab или другой компьютерной программы. Рассмотреть зависимости угла отклонения маятника от времени, зависимость угловой скорости от времени и от величины силы,

3.2. Регулярное и нерегулярное движение математического маятника.

Методом вычислительного эксперимента исследовать поведение системы в зависимости от величины внешней силы; определить связь типа режима движения с величиной внешней силы.

3.3. Причины возникновения хаотических колебаний.

Исследовать зависимость от времени разности траекторий двух маятников с близкими начальными значениями углов отклонения. Показать физические причины возникновения хаотического режима. Построить фазовые диаграммы для режима регулярного движения маятника, для хаотического движения маятника, для переходного режима движения маятника.

4. Анализ результатов математического моделирования. Провести анализ полученных результатов, показать, при каких условиях система является устойчивой.

##### 5. Заключение.

В заключении должны быть кратко сформулированы основные результаты, полученные в работе, и сделанные на основе их анализа выводы.

**Выводы.** Подготовка специалистов по направлению «Физика» должна базироваться на

компетентностном подходе и проектном подходе. Одним из методов реализации проектного подхода является выполнение курсовых работ по специальным дисциплинам. Это будет способствовать формированию профессиональных компетенций студентов в области научно-исследовательской деятельности.

При этом у студентов будут развиваться научно-исследовательские умения – умение проводить поиск и постановку проблемы; ставить задачи, необходимые для исследования; осуществлять поиск и отбор необходимой информации, планировать и проводить эксперимент, фиксировать и анализировать результаты, проводить обработку результатов эксперимента строить гипотезы, обобщать, делать выводы. Все это будет в значительной мере способствовать формированию компетентной личности, способной к профессиональной деятельности в области физики и смежных областях наук.

#### Л и т е р а т у р а

1. Равен Дж. Педагогическое тестирование: проблемы, заблуждения, перспективы. Пер. с англ. – М.: Кошто-центр, 1999.
2. Харченко Е. И. Проблемы формирования компетентностной модели специалиста по специальности «Прикладная физика» / Е. И. Харченко, А. В. Чаленко // Вісник Кременчуцького державного університету. – Кременчук, 2008. – № 5 (52), ч. 1. – С. 101-103.
3. Павловская С.И., Сироткина Н.Г. Анализ опыта проектной деятельности при преподавании управленческих дисциплин в вузах...Экономические науки. – 2014. – №4.
4. Нефедова Н.А. Проектный метод в блоке дополнительного образования вуза. Вектор науки: ТГУ – Тольятти, 2012. – №1. – С. 259-262.
5. Махотин Д. А. Проектный подход к технологии обучения в системе высшего профессионального образования / Д. А. Махотин // Качество. Инновация. Образование. 2005. – №1. – С. 11-21.
6. Лыштван Е.Ю., Харченко Е.И., Чаленко А.В. Формирование профессиональных компетенций в области научно-исследовательской деятельности у студентов направления «физика». Вестник Луганского нац. Ун-та им. В. Даля, №2(4) Ч.1. 2017. – С. 289-291.

**Kharchenko E.I., Chalenko A.V., Lyshtvan E.Y.**

#### **ABOUT COURSE WORK IN THE PREPARATION OF STUDENTS OF THE SPECIALTY "PHYSICS"**

*The paper considers the issues of the formation of research competencies of physics students in the course of course work. It is shown that the performance of coursework in the disciplines will stimulate the research activities of students, develop their research skills.*

**Keywords:** coursework, research skills, professional competencies, project approach, creative tasks.

**Харченко Евгений Иванович**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** kharchenko\_ei@mail.ru

**Kharchenko Evgeniy**, candidate of physical and mathematical sciences, associate Professor of the Department of physics of the SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Чаленко Анжелика Валериевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры физики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** anghiel.anghiel.2014@mail.ru

**Chalenko Anzhelika**, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of physics of the SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Лыштван Елена Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры физики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** lustva\_lena@mail.ru

**Lyshtvan Elena**, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of physics of the SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Корсунов Константин Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 01.08.2022*

УДК 37.033

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИКА» В ВУЗЕ

Чаленко А.В., Харченко Е.И., Лыштван Е.Ю.

## THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF THE METHOD OF INTELLIGENCE MAPS IN THE STUDY OF THE DISCIPLINE "PHYSICS" AT THE UNIVERSITY

Chalenko A.V., Kharchenko E.I., Lyshtvan E.Y.

*В статье рассмотрены возможности использования метода «интеллект-карт», разработанного английским психологом Тони Бьюзеном, при обучении физике в вузе.*

**Ключевые слова:** «интеллект-карты», карта мыслей, памяти, проблемы мышления, диаграмма связей, метод «интеллект-карт».

**Введение.** В образовании всё большую популярность приобретают интеллект-карты, которые создаются с целью удобства и их эффективности при обучении, т.к. яркие картинки, рисунки, графические изображения легче запомнить и воспроизвести впоследствии.

В основу метода интеллект-карт положены исследования и разработки английского психолога и консультанта по вопросам интеллекта, психологии обучения и проблем мышления Тони Бьюзена. Интеллект-карты могут быть эффективным инструментом для концентрации и обработки информации, формулирования плана действий и первым шагом в новых проектах.

Информация, представленная в виде интеллект-карт, воспринимается быстрее, эффективнее, запоминается на более долгий срок, т.к. это соответствует естественной ассоциативной природе нашего мышления [1].

Интеллект-карта, майнд-карта (mindmap), карта памяти, карта мыслей – это диаграмма связей от одного общего к множеству частных. Карту используют во всех сферах, чтобы запомнить, придумать, разобраться, визуализировать, найти связи и разгрузиться.

Результаты литературного обзора показали, что в России метод интеллект-карт (или ментальных карт) изучается Л. М. Андрюхиной, Е. А. Бершадской и М. Е. Бершадским и др.

Интеллект-карта – это графическое выражение процессов многомерного мышления [Андрюхина Л. М.]. Цель интеллект-карты – визуализировать информацию в виде графической радиантной схемы для эффективного запоминания и понимания, а также активизации познавательной деятельности.

Данный метод был разработан в 70-х годах XX столетия Тони Бьюзеном, а в 2006 году создано программное обеспечение iMindMap, сайт Buzan Centres. Отметим, что для реализации метода ментальных карт существуют программы по построению интеллект-карт: <https://bubbl.us/>; [https://skillbox.ru/media/growth/7\\_instrumentov\\_dlya\\_sozdaniya\\_intellekt\\_kart/?ysclid=168d32s352939914983](https://skillbox.ru/media/growth/7_instrumentov_dlya_sozdaniya_intellekt_kart/?ysclid=168d32s352939914983); <http://www.mindmeister.com>.

Таким образом, интеллект-карты – это наглядный инструмент для решения таких задач, как проведение презентаций, принятие решений, планирование своего времени, запоминание больших объемов информации, проведение мозговых штурмов, самоанализ, разработка сложных проектов, собственное обучение, развитие, и многих других.

**Изложение основного материала.** В вузе, как и в школе «Физика» – одна из сложных дисциплин, содержащих большое число абстрактных понятий, формул, теорий. К основным задачам изучения физики относятся: изучение основных законов физики, формирование научного мировоззрения, развитие мышления, ознакомление с достижениями современной физики и техники, а также их потенциальное применение на практике.

**Гипотеза.** Если применять методический прием структурирования теоретического материала дисциплины «Физика» в интеллект-карты, то процесс запоминания и понимания значения и взаимных связей понятий и обозначающих их терминов в сознании студентов оптимизируется.

**Цель данной статьи** – показать, как можно улучшить обучение физике с помощью техники создания интеллект-карт и как эта техника продолжает развиваться в ответ на новые вызовы, с которыми сталкивается человечество.

Исследование проводилось в 2020-2022 учебных годах на 1-4 курсах направления подготовки 03.03.02 «Физика», квалификация – бакалавр в государственном образовательном учреждении высшего образования «Луганский

государственный университет имени Владимира Даля».

Для эффективного запоминания и понимания студентами терминов и понятий в обучении физике нами был предложен метод структурирования теоретического материала в интеллект-карты.

Суть метода состоит в выделении главного понятия, от которого ответвляются задачи, мысли, идеи, шаги в реализации проекта. Каждая ветка может содержать несколько более мелких ветвей-подпунктов. Ко всем записям можно оставлять комментарии, которые помогут не запутаться в сложном проекте [1, 2].

Перечислим основные свойства интеллектуальной карты: запоминаемость, наглядность, возможность пересмотра, своевременность, творческий характер (рис. 1).



Рис. 1. Свойства интеллект-карты [2]

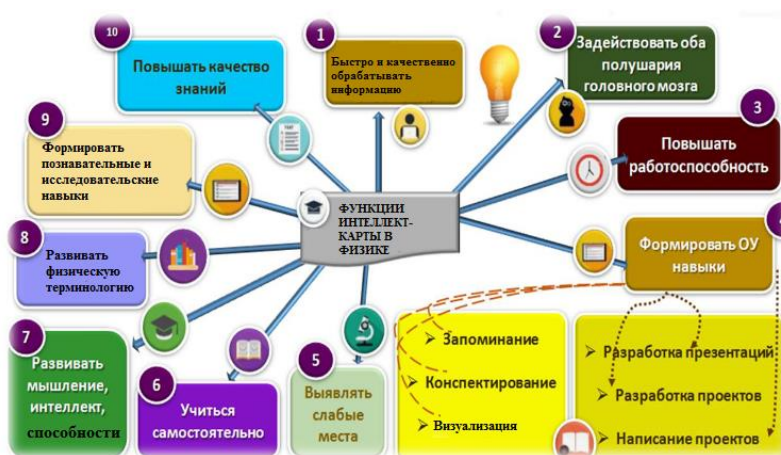


Рис. 2. Функции интеллект-карты при обучении физике

Использование интеллект-карты способствует:

- обучению (на запоминание информации тратится меньше времени) (см. рис.3);
- концентрации (внимание концентрируется на задаче естественным образом, без принуждения, и результативность при этом значительно увеличивается);

К основным функциям интеллект-карт можно отнести (рис. 2):

- быстроту и качественную обработку огромного массива информации;
- наглядное представление данных, т.е. построение определенной структуры или модели представления данных для быстрого восприятия и легкого запоминания;
- эффективное хранение информации;
- повышение качества знаний;
- повышение работоспособности;
- развитие логического и критического мышления, интеллектуальных способностей;
- развитие физической терминологии и научных понятий;
- выявление слабых мест;
- формирование общеучебных умений и навыков.

- запоминанию (ключевые элементы вспомнятся быстро и возникнет как бы «видение» информации внутренним мысленным взором; подготовка к экзаменам);
- мышлению (мышление становится более чётким и гибким, проявляются интуитивные и творческие способности);

- мотивации учебной деятельности (сосредоточенность, концентрация внимания на изучаемом предмете, теме; стремление узнать больше, участвовать в дискуссии; интерес к

информации; к способу действия, к участникам образовательного процесса; потребность в самовыражении, самопознании и т.п.).

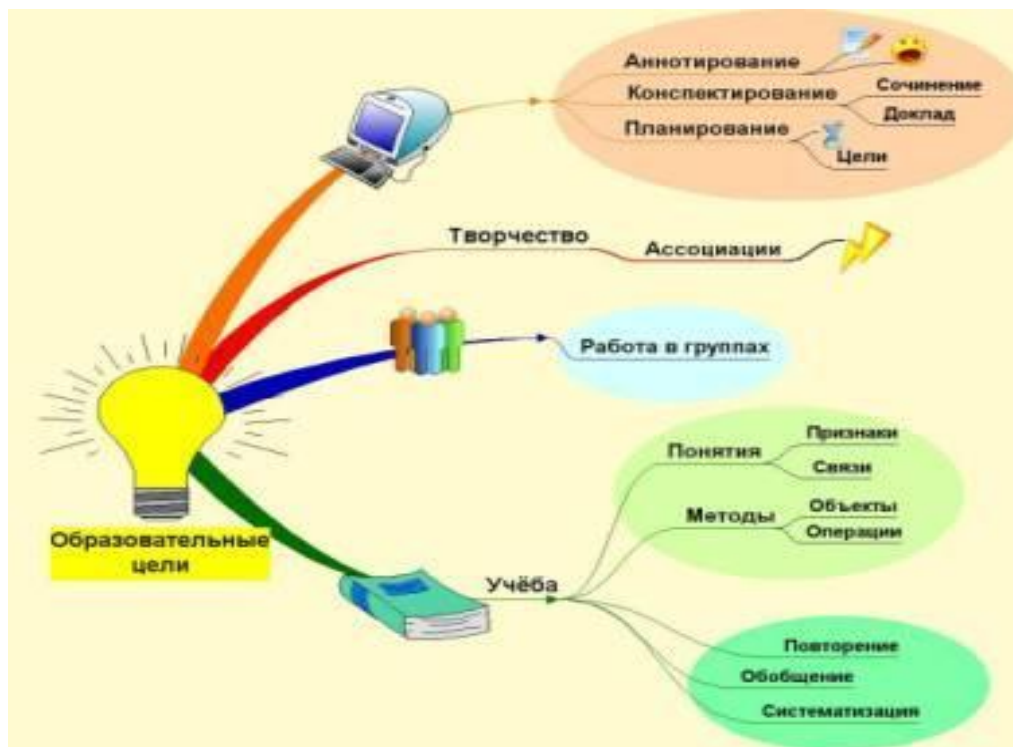


Рис. 3. Применение интеллект-карты в обучении

Студентам было предложено структурировать знания темы в интеллект карту по заранее заданным правилам. Для этого необходимо определить центральное системообразующее понятие (понятия) темы. Затем выделить понятия, находящиеся в отношениях причины и следствия с центральным. Графически (произвольно) структурировать их в схему, обозначив иерархию и связи. Необходимо было внести всю научную терминологию темы.

Рассмотрим правила заполнения интеллект-карты:

1. Используйте доску, лист бумаги, цветные карандаши, ручки, фломастеры, наклейки, стоп-сигналы, а также графические редакторы планшета, ноутбука или ПК.

2. В центре – главная идея, главный яркий образ, от которого отходят ветви – идеи и дополнения: выделяйте ключевые слова, добавляйте рисунки. Ветви живые, а не шаблонные. Человеческий мозг не может воспринять и запомнить более чем 7 главных ветвей. Это основное и главное правило при составлении грамотной интеллект-карты. [3]

3. Применяйте графические образы: придавайте изображению объем, варьируйте размеры букв, толщину линий и масштаб графики.

4. Меньше слов, и больше образов. Мозг плохо понимает целые предложения, сократите их до одного слова или яркого образа.

5. Читайте карту по часовой стрелке, начиная с правого верхнего угла. На рис.4 показана схема чтения интеллект-карты.

6. Пользуйтесь комбинированием всех видов эмоционально-чувственного восприятия.

7. Оптимально размещайте элементы на интеллект-карте. Выделяйте главное, используя разные цвета, но не более 3-4 цветов.



Рис. 4. Схема чтения интеллект-карты

**Создание интеллект-карты.** Рассмотрим алгоритм создания интеллект-карты по лекции «Введение. Физика и ее связь с другими науками и техникой. Материя. Основные представления о

строении материи в современной физике». План лекции:

1. Физика – наука о неживой природе. Разделы физики.

2. Материя: философская категория и физическое понятие.

2.1. Виды материи: вещество и поле.

2.2. Формы материи: пространство и время.

2.3. Свойства материи: движение и взаимодействие.

3. Понятия и законы физики. Методы исследования в физике. Ученые-физики и их вклад в науку.

Первая интеллект-карта составлялась на занятии совместно с преподавателем.

Алгоритм создания интеллект-карты:

1. Отмечаем выбранный центральный образ на листе бумаги (доски), «Материя».

2. Записываем на отдельном листке все, что связано с образом темы, например, «Свойства материи», «Виды материи», «Формы материи» и т.д.

3. Разбираем слова-ассоциации, группируем по смыслу.

4. Намечаем структуру карты, подбираем ключевые слова и ключевые предложения к словам-ассоциациям.

5. Отмечаем основной образ, добавляем ветви – основу структуры. Количество ветвей равно количеству ключевых фраз и ключевых слов.

6. Заполняем структуру словами-ассоциациями, размещая их на ответвлениях соответствующих ключевых веток.

7. Оживляем карту рисунками, символами, ключевыми словами, словосочетаниями.

8. Устанавливаем объективные связи между блоками или их элементами.

На рис. 5 показана интеллект карта, которая была создана студентами.

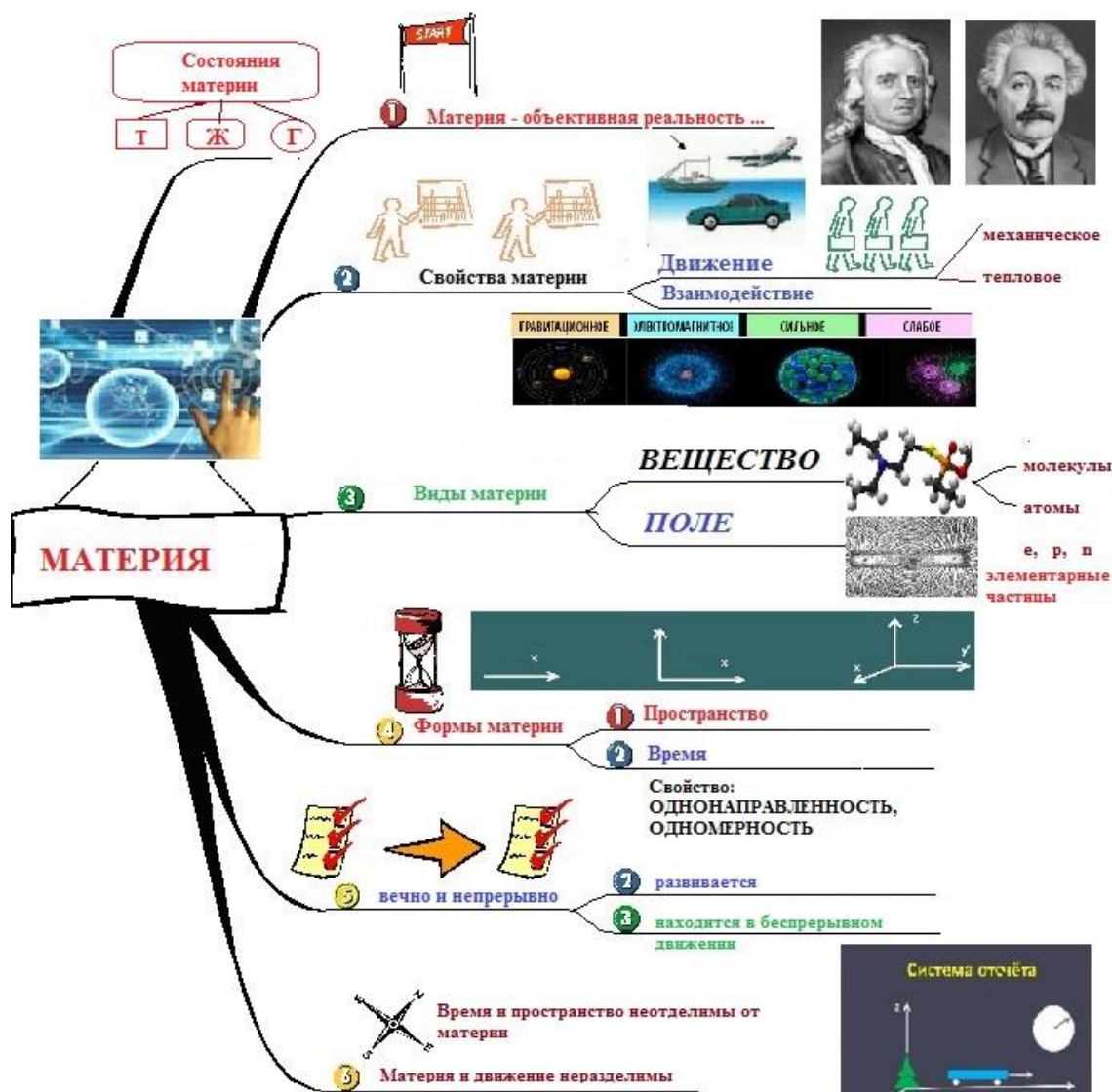


Рис. 5. Интеллект-карты по теме «Введение. Физика и ее связь с другими науками и техникой. Материя. Основные представления о строении материи в современной физике»

Считаем необходимым научить студентов видеть «сложную» физику понятной и интересной с помощью ментальной карты. Студенты были разделены на группы для создания интеллект-карт по лекциям дисциплины «Физика». После того, как интеллект-карты были готовы, каждая группа должна была представить свою работу и проанализировать работы других групп.

В ходе работы студенты учились выделять главное в теме, классифицировать, систематизировать, анализировать, структурировать информацию, переводить из текстового формата в графический, связывать ее между собой. Кроме этого, студенты работали в группе, что дало им возможность сотрудничать, оценивать и корректировать друг друга.

**Заключение.** Данная технология обладает уникальной особенностью сворачивать огромные массивы информации по физике в доступную графическую форму изложения материала, не теряя при этом ее элементов. Интеллект-карты по физике – это опора для развития предметной компетенции обучающихся, интеллекта, пространственного мышления, познавательной активности, творческого мышления, а также они повышают мотивацию обучающихся, активизируют учебную деятельность и способствуют самостоятельному выявлению слабых мест в знании учебного предмета.

Технология обучения через создание ментальных карт имеет свои преимущества и будет эффективной, если использовать ее системно и продуманно. Практическая реализация интеллект-карт показывает значительный рост интереса обучающихся к углубленному изучению физики, активизации мыслительной деятельности и, как следствие, общий рост эстетического и интеллектуального образования. Интеллект-карта – полезный инструмент структурирования, анализа, планирования и принятия решений. При составлении карты важно соблюдать иерархию уровней, чтобы не запутаться в мыслях. Mind map можно рисовать от руки или воспользоваться программами. Разобраться с тем, как делать интеллект-карту в сервисе, несложно: большинство предлагают обучающие материалы и бесплатные пробные версии.

### Л и т е р а т у р а

1. Тони Бьюзен. Интеллект-карты. Полное руководство по мощному инструменту мышления: Манн, Иванов и Фербер; Москва; 2019. – 199 с.
2. Абрашикова Н.Н. Интеллект – карта как инструмент анализа текста на уроках литературы: методическое пособие для учителей русского языка и литературы / Н.Н. Абрашикова. 2019. – 23 с.

3. Бьюзен Т. Суперпамять. Мн.: ООО «Попурри», 2015. – 240 с.

4. Латыпов Н. Основы интеллектуального тренинга. Минута на размышление. СПб.: «Питер», 2005. – 336 с.

5. Программа для визуальной работы с данными, идеями и проектами. ConceptDraw Mindmap Professional

6. Программа для создания ментальных карт <http://www.mind-map.ru/>

### **Chalenko A.V., Kharchenko E.I., Lyshtvan E.Y.** **THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF THE METHOD OF INTELLIGENCE MAPS IN THE STUDY OF THE DISCIPLINE "PHYSICS" AT THE UNIVERSITY**

*The article discusses the possibilities of using the "intelligence maps" method, developed by the English psychologist Tony Buzenoi, when teaching physics at a university.*

**Keywords:** "intelligence maps", map of thoughts, memory, problems of thinking, diagram of connections, method of "intelligence maps".

**Чаленко Анжелика Валериевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры физики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** anghiel.anghiel.2014@mail.ru

**Chalenko Anzhelika**, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of physics of the SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Харченко Евгений Иванович**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** kharchenko\_ei@mail.ru

**Kharchenko Evgeniy**, candidate of physical and mathematical sciences, associate Professor of the Department of physics of the SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Лыштван Елена Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры физики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** lustva\_lena@mail.ru

**Lyshtvan Elena**, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of physics of SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Корсунов Константин Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 01.08.2022*

УДК 004.43, 004.423

## АНАЛИЗ КОРПУСА ИСХОДНЫХ ТЕКСТОВ НА PYTHON С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Швыров В.В., Капустин Д.А., Шулика Т.И.

## ANALYSIS OF THE PYTHON DATASET USING STATISTICAL METHODS

Shvyrov V.V., Kapustin D.A., Shulika T.I.

*В последние годы набирают популярность интеллектуальные системы, в которых успешно сочетаются статистические методы обработки корпусов текстов на различных языках программирования с методами машинного обучения. В работе проводится анализ корпуса текстов программ на языке Python. В частности, выполнено исследование блока импортируемых библиотек, получены статистические данные о реальном использовании подключаемых библиотек и латентных тенденциях. Получены рейтинговые таблицы по ряду категорий библиотек.*

**Ключевые слова:** библиотеки для python, большие данные, машинное обучение в программировании, статистические методы, python dataset.

**Введение.** Технологии больших данных активно развиваются в последние годы. Для примера, несколько обзорных материалов можно найти в работах [1, 2] и коллекцию ссылок на релевантные материалы в каталоге [3].

Одной из сфер практического применения технологий больших данных является использование методов машинного обучения для обработки текстов на естественных языках NLP – natural language processing [4]. Немалую роль в случае NLP играют латентно-семантические и статистические методы обработки данных. Ключевые концепции латентно-семантического анализа данных представлены в работах Ландауэра, Дервестера, Фольца [5-8]. Можно сказать, что область научных исследований, связанная с использованием машинного обучения в задачах информационного поиска, продолжает активно развиваться.

На стыке всех описанных выше технологий и методов классического статического анализа программного кода Кузо [9] возникают ряд интересных проектов [10] и работ [11-13], которые используют нейросетевые методы в анализе программного кода. В частности, отметим проект DeepCode исследовательской группы SRILAB [14], который комбинирует статистические и нейросетевые методы анализа программного кода для разработки новых инструментальных средств, которые опираются на статистические и

нейросетевые модели, обученные на огромных базах программного кода [15-16].

Данная работа представляет собой попытку имплементации анализа больших данных, которые, по сути, представлены корпусом исходных текстов на языке Python состоящем из 140 000 файлов.

Целью работы является определение статистических характеристик использования различных библиотек и модулей языка Python, а также выявление латентных тенденций в развитии современных веб-приложений, выявление актуальных фреймворков и пакетов анализа. Количественные показатели использования той или иной библиотеки или импортируемой функции из библиотеки могут быть полезны при оценке потенциального урона в случае выявления уязвимостей в подключаемых библиотеках.

Актуальность работы обусловлена рядом факторов. Во-первых, согласно рейтингу TIOBE [17] язык Python по популярности переместился с третьей на первую позицию сместив C и Java. Во-вторых, в соответствии с рейтингом Open Web Application Security Project - OWASP [18], категория уязвимостей, которые связаны с использованием устаревших или уязвимых библиотек и компонент A06:2021 находится на шестой строчке рейтинга. Это свидетельствует о актуальности подобного анализа импортируемых библиотек.

С другой стороны, статистические исследования подобного плана являются одним из шагов по разметке программного кода и составлении языковой модели для программного кода [19], а также для дальнейшего движения в направлении разработки современных интеллектуальных поисковых систем и систем контекстной помощи.

**Цель работы** – исследование корпусов тестов, написанных на языке программирования Python.

**Предварительная обработка данных. Характеристики корпуса текстов.** На данный момент одной из самых больших языковых моделей для различных языков программирования является модель Codex [20]. Несмотря на ее эффективность доступ к ней ограничен. Также следует отметить

модель CodeParrot [21], которая обучена на датасете 180 Гб. кода на Python, который не был найден в открытом доступе. В связи с этим был использован каталог наборов данных для различных языков программирования с открытым доступом [22]. Для языка Python в данном ресурсе представлены архивы текстов PY150, TypeWriter, Typlus.

В результате анализа, был выбран корпус текстов программ на языке Python Py150k [23], как наиболее объемный корпус текстов широкого назначения. В архиве находятся листинги программ, размещенных в открытом хранилище GitHub из которых удалены дубликаты и ответвления существующих проектов. В таблице 1 приводятся общие характеристики исходного корпуса текстов.

Таблица 1

**Общая характеристика корпуса листингов программного кода**

| Характеристика              | Значение     |
|-----------------------------|--------------|
| Количество файлов           | 140000       |
| Общее количество строк кода | 23834110     |
| Размер на диске             | 1 136 325 кб |
| Средний размер файла        | 8,1 кб       |
| Среднее число строк в файле | 170,2        |
| Общее число каталогов       | 5958         |

Для организации управления пакетами и зависимостями использовалась среда Anaconda, а также редактор Spyder 5.15., Python 3.8.

Для эффективной обработки данных - 140 000 файлов были объединены в 14 укрупненных блоков, каждый из которых содержит исходные коды 10 000 файлов. Размеры блоков варьируются от 28 до 72 Мб. Для реализации скрипта объединения файлов использовалась стандартная библиотека os для получения списка всех файлов, а также средства Total Commander.

В данной работе основной задачей является анализ блока import в исходных текстах. Для уменьшения времени обработки исходного корпуса была выполнена семантическая сегментация программного кода, которая удалила все лишние данные оставив только интересующий для анализа блок. Формально, данный блок представляет собой набор строк, которые могут принимать любую из форм записи 1-4:

- 1) import X
- 2) from X import Y
- 3) import X1, X2, ..., Xn
- 4) import X as Name

Существуют различные подходы к задаче семантической разметки кода. В данном случае будем использовать комбинированный подход,

который основан на особенностях кода и выделении токенов в строке. Заметим, что признаком необходимой для анализа строки является наличие ключевого слова «import». Также в форме 3) необходимо учесть наличие нескольких библиотек подключаемых в одной строке.

С учетом данных факторов были разработаны необходимые скрипты на языке Python для анализа данных. Были использованы такие структуры как списки, словари и множества, а также библиотека xlswriter для вывода данных словаря в Excel. Словарь представляет собой структуру записей вида {ключ: значение}, где ключ - название библиотеки в строке import, значение – общее количество появлений библиотеки в исходном корпусе файлов Python. В таблице 2 приводятся общие характеристики полученного словаря.

Таблица 2

**Общие характеристики**

| Характеристика                                                                  | Значение |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Общее количество блоков import                                                  | 697413   |
| Число записей в словаре                                                         | 176419   |
| Среднее количество блоков import на файл                                        | 4,98     |
| Количество ключей со значением 1 (наименование библиотеки упоминается один раз) | 95308    |
| Форм записи блока импорта 2                                                     | 457169   |
| Форм записи блока импорта 1,3,4                                                 | 240244   |

### 3. Общий рейтинг подключаемых библиотек

После экспорта данных словаря была выполнена сортировка, а также определена процентная доля от общего числа записей в словаре. Данные первых 99 записей представлены в таблице 3.

Из таблицы видно, что значительное число проектов на Python используют библиотеки os, sys, re, logging, time, unittest, numpy, json, datetime, а также популярный для написания веб-приложений django. Общий список библиотек для Anaconda можно найти в списке [24].

Также следует отметить, значительное число проектов, которые используют модули os и subprocess, методы которых потенциально могут использоваться для командных инъекций. Например, в случае использования кода: subprocess.Popen(cmd, shell=True).

Сопоставление данных блока импорта связанных с конкретным файлом с детальным описанием подключаемых библиотек делает возможным автоматическую рубрикацию программ, кроме этого, данные могут быть использованы в различных моделях машинного обучения.

Таблица 3

## Частотные характеристики библиотек Python

| №  | Библиотека               | Абс. част. | Отн. част. (%) | №  | Библиотека               | Абс. част. | Отн. част. (%) | №  | Библиотека                 | Абс. част. | Отн. част. (%) |
|----|--------------------------|------------|----------------|----|--------------------------|------------|----------------|----|----------------------------|------------|----------------|
| 1  | os                       | 26708      | 3,830          | 34 | setuptools               | 2876       | 0,412          | 67 | south.db                   | 1764       | 0,253          |
| 2  | sys                      | 23213      | 3,328          | 35 | tempfile                 | 2835       | 0,407          | 68 | requests                   | 1735       | 0,249          |
| 3  | future_                  | 21232      | 3,044          | 36 | threading                | 2677       | 0,384          | 69 | django.core.exceptions     | 1718       | 0,246          |
| 4  | datetime                 | 11832      | 1,697          | 37 | shutil                   | 2605       | 0,374          | 70 | south.v2                   | 1715       | 0,246          |
| 5  | unittest                 | 10715      | 1,536          | 38 | itertools                | 2589       | 0,371          | 71 | migrations                 | 1710       | 0,245          |
| 6  | time                     | 10548      | 1,512          | 39 | warnings                 | 2579       | 0,370          | 72 | exceptions                 | 1704       | 0,244          |
| 7  | logging                  | 10485      | 1,503          | 40 | socket                   | 2537       | 0,364          | 73 | nose.tools                 | 1697       | 0,243          |
| 8  | re                       | 9982       | 1,431          | 41 | functools                | 2467       | 0,354          | 74 | noqa                       | 1690       | 0,242          |
| 9  | numpy                    | 8599       | 1,233          | 42 | django.test              | 2462       | 0,353          | 75 | io                         | 1642       | 0,235          |
| 10 | unicode_literals         | 8170       | 1,171          | 43 | urlparse                 | 2332       | 0,334          | 76 | url                        | 1626       | 0,233          |
| 11 | absolute_import          | 8160       | 1,170          | 44 | ugettext_lazy            | 2304       | 0,330          | 77 | uuid                       | 1609       | 0,231          |
| 12 | swgpy.object             | 7867       | 1,128          | 45 | pytest                   | 2281       | 0,327          | 78 | config                     | 1604       | 0,230          |
| 13 | models                   | 7566       | 1,085          | 46 | urllib                   | 2270       | 0,325          | 79 | django.contrib             | 1601       | 0,230          |
| 14 | django.db                | 6935       | 0,994          | 47 | log                      | 2258       | 0,324          | 80 | django.contrib.auth.models | 1577       | 0,226          |
| 15 | print_function           | 6910       | 0,991          | 48 | argparse                 | 2231       | 0,320          | 81 | django.conf.urls           | 1563       | 0,224          |
| 16 | json                     | 6883       | 0,987          | 49 | traceback                | 2227       | 0,319          | 82 | inspect                    | 1543       | 0,221          |
| 17 | settings                 | 6787       | 0,973          | 50 | math                     | 2162       | 0,310          | 83 | optparse                   | 1530       | 0,219          |
| 18 | django.conf              | 5173       | 0,742          | 51 | User                     | 2105       | 0,302          | 84 | base64                     | 1488       | 0,213          |
| 19 | division                 | 4958       | 0,711          | 52 | django.core.urlresolvers | 2081       | 0,298          | 85 | SchemaMigration            | 1481       | 0,212          |
| 20 | collections              | 4718       | 0,677          | 53 | sqlalchemy               | 2015       | 0,289          | 86 | forms                      | 1478       | 0,212          |
| 21 | StringIO                 | 4121       | 0,591          | 54 | reverse                  | 1993       | 0,286          | 87 | django.utils.encoding      | 1422       | 0,204          |
| 22 | TestCase                 | 4101       | 0,588          | 55 | util                     | 1989       | 0,285          | 88 | struct                     | 1401       | 0,201          |
| 23 | six                      | 3866       | 0,554          | 56 | flask                    | 1988       | 0,285          | 89 | glob                       | 1395       | 0,200          |
| 24 | mock                     | 3808       | 0,546          | 57 | the                      | 1985       | 0,285          | 90 | .models                    | 1361       | 0,195          |
| 25 | random                   | 3629       | 0,520          | 58 | test                     | 1932       | 0,277          | 91 | operator                   | 1334       | 0,191          |
| 26 | utils                    | 3625       | 0,520          | 59 | django.http              | 1928       | 0,276          | 92 | urllib2                    | 1321       | 0,189          |
| 27 | setup                    | 3609       | 0,517          | 60 | django.utils             | 1924       | 0,276          | 93 | find_packages              | 1317       | 0,189          |
| 28 | os.path                  | 3591       | 0,515          | 61 | hashlib                  | 1891       | 0,271          | 94 | admin                      | 1298       | 0,186          |
| 29 | subprocess               | 3583       | 0,514          | 62 | nova                     | 1867       | 0,268          | 95 | django.template            | 1283       | 0,184          |
| 30 | django.utils.translation | 3353       | 0,481          | 63 | base                     | 1864       | 0,267          | 96 | timedelta                  | 1250       | 0,179          |
| 31 | copy                     | 3073       | 0,441          | 64 | twisted.internet         | 1827       | 0,262          | 97 | patch                      | 1240       | 0,178          |
| 32 | db                       | 3011       | 0,432          | 65 | string                   | 1786       | 0,256          | 98 | pprint                     | 1237       | 0,177          |
| 33 | django                   | 2878       | 0,413          | 66 | types                    | 1776       | 0,255          | 99 | django.shortcuts           | 1224       | 0,176          |

**Пример использования данных с целью анализа популярности библиотек для визуализации.** Используем полученные ранее данные для анализа популярности пакетов для работы с графикой и визуализации данных в Python. Для этого, выделим из общего списка пакетов [24],

пакеты, которые имеют следующие ключевые слова: «figures», «graphics», «visualization». В результате были найдены такие библиотеки: Matplotlib, Pyqtgraph, Datashader, Graphviz, Plotly, Seaborn, Visvis для Python 3.8. В таблице 4 приведены показатели по использованию данных библиотек.

Таблица 4

## Частотные показатели библиотек для визуализации

| № | Библиотека | Абсолютная частота | (%)  |
|---|------------|--------------------|------|
| 1 | Matplotlib | 2268               | 93,1 |
| 2 | Plotly     | 89                 | 3,7  |
| 3 | Seaborn    | 51                 | 2,1  |
| 4 | Pyqtgraph  | 11                 | 0,5  |
| 5 | Graphviz   | 10                 | 0,4  |
| 6 | Datashader | 6                  | 0,2  |
| 7 | Visvis     | 0                  | 0,0  |

Таким образом лидирующее значение по использованию остается за библиотекой Matplotlib. В таблице 5 приводятся детальные данные по библиотеке.

Таблица 5

**Частотные характеристики по библиотеке Matplotlib**

| №  | Библиотека             | Абсолютная частота | (%)   |
|----|------------------------|--------------------|-------|
| 1  | matplotlib.pyplot      | 1110               | 48,94 |
| 2  | matplotlib             | 574                | 25,31 |
| 3  | matplotlib.colors      | 56                 | 2,47  |
| 4  | matplotlib.patches     | 54                 | 2,38  |
| 5  | matplotlib.cm          | 50                 | 2,20  |
| 6  | matplotlib.ticker      | 42                 | 1,85  |
| 7  | matplotlib.figure      | 33                 | 1,46  |
| 8  | matplotlib.dates       | 32                 | 1,41  |
| 9  | matplotlib.collections | 28                 | 1,23  |
| 10 | matplotlib.mlab        | 21                 | 0,93  |

**Выводы.** Современные исследования в области программной инженерии тесно связаны с вопросами анализа больших данных, методами машинного обучения, латентно-семантическими и статистическими методами, а также методами глубокого обучения. Кроме классических задач анализа ПО, тестирования программного обеспечения, анализа безопасности, поиска дубликатов кода и др. возникли целые классы новых перспективных направлений. Например, задачи генерации программного кода по описанию, автоматизированное формирование документации к программному коду, синтез программ по описанию, изучение метрик кода.

В работе получены статистические оценки и метрики кода языка Python для блока импортируемых библиотек, которые позволяют построить рейтинговые таблицы используемых библиотек. Кроме того, показан пример использования полученных данных для анализа популярности библиотек для визуализации.

Результаты работы также могут быть использованы для повышения качества учебно-методических материалов по соответствующим дисциплинам. Так, при составлении лабораторных и практических занятий можно оперировать конкретными данными, которые учитывают статистику использования подключаемых библиотек для выработки компетенций по работе с данными библиотеками. Это в итоге сделает выпускника более конкурентоспособным на рынке.

**Л и т е р а т у р а**

1. Hilbert M. Big Data for Development: A Review of Promises and Challenges / M. Hilbert // Development Policy Review, 34(1), (2016) 135–174.

2. Радченко И.А. Технологии и инфраструктура / И.А. Радченко, И.Н. Николаев // Big Data. – СПб: Университет ИТМО, 2018. – 52 с.

3. Awesome Big Data [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/0xnr/awesome-bigdata> (дата обращения: 23.04.2022).

4. Обработка естественного языка [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Обработка\\_естественного\\_языка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Обработка_естественного_языка) (дата обращения: 23.04.2022).

5. Deerwester S. Indexing by Latent Semantic Analysis / S. Deerwester, S.T. Duma, G.W. Fumas, T.K. Landauer, R. Harshman // Journal of the American Society for Information Science, 41, (1990) 391 – 407.

6. Foltz P. Latent Semantic Indexing for textbased research / P. Foltz // Behavior Research Methods, Instruments, and Computers, 28, (1996) 197 - 202.

7. Foltz P. An analysis of textual coherence using latent semantic indexing / P. Foltz, W. Kintsch, T.K. LANDAUER // An Paper presented at the Third Annual Conference of the Society for Text and Discourse, Boulder, CO. (1993, July)

8. Landauer T.K. An introduction to Latent Semantic Analysis / T.K. Landauer, P. Foltz, D. Laham // Discourse Processes, 25, (1998) 259 - 284.

9. Cousot P. Abstract interpretation: a unified lattice model for static analysis of programs by construction or approximation of fixpoints // Proceedings of the 4th ACM SIGACT-SIGPLAN symposium on Principles of programming languages — 1977 pp. 238–252.

10. DeepCode: Semantic static code analysis for better software - powered by AI [Электронный ресурс] URL: <https://www.deepcode.ai/> (дата обращения: 23.04.2022).

11. Wei H.-H., Li M. Supervised deep features for software functional clone detection by exploiting lexical and syntactical information in source code / H.- H. Wei and M. Li // Proceedings of the 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence. AAAI Press, 2017, pp. 3034–3040.

12. Mou L. Convolutional neural networks over tree structures for programming language processing / L. Mou, G. Li, L. Zhang, T. Wang, and Z. Jin, // AAAI, vol. 2, no. 3, 2016, p. 4.

13. White M. Deep learning code fragments for code clone detection / M. White, M. Tufano, C. Vendome, D. Poshyvanyk // Proceedings of the 31<sup>st</sup> IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering. ACM, 2016, pp. 87–98.

14. Secure, Reliable, and Intelligent Systems Lab | SRI Group Website [Электронный ресурс] URL: <https://www.sri.inf.ethz.ch/> (дата обращения: 23.04.2022).

15. Raychev V. Probabilistic Model for Code with Decision Trees / V. Raychev, P. Bielik, M. Vechev // In Proceedings of the 2016 ACM SIGPLAN International Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications (2016), OOPSLA '16, ACM

16. 150k Python Dataset [Электронный ресурс] URL: <https://www.sri.inf.ethz.ch/py150> (дата обращения: 23.04.2022).

17. TIOBE Index for March 2022 [Электронный ресурс] URL: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (дата обращения: 23.04.2022).

18. OWASP Top 10 - 2021 [Электронный ресурс] URL: <https://owasp.org/Top10/> (дата обращения: 23.04.2022).

19. Word2vec [Электронный ресурс] URL: Word2vec – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Word2vec> (дата обращения: 23.04.2022).

20. Chen M. Evaluating large language models trained on code / M. Chen, J.Tworek, H. Jun, Q. Yuan, H. Ponde, J. Kaplan, H. Edwards, Y. Burda, N. Joseph, G.Brockman, et al. // arXiv preprint arXiv:2107.03374, 2021.

21. Tunstall L. Natural Language Processing with Transformers / L. Tunstall, Leandro von Werra, T. Wolf. // O'Reilly Media, Inc., 2022.

22. A Collection of Datasets for Big Code Analysis [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/CUHK-ARISE/ml4code-dataset> (дата обращения: 23.04.2022).

23. An archive of source files used to generate the py150 Dataset [Электронный ресурс] URL: [http://files.srl.inf.ethz.ch/data/py150\\_files.tar.gz](http://files.srl.inf.ethz.ch/data/py150_files.tar.gz) (дата обращения: 23.04.2022).

24. Packages for 64-bit Windows with Python 3.9 [Электронный ресурс] URL: [https://docs.anaconda.com/anaconda/packages/py3.9\\_win-64/](https://docs.anaconda.com/anaconda/packages/py3.9_win-64/) (дата обращения: 23.04.2022).

**Shvyrov V.V., Kapustin D.A., Shulika T.I.**  
**ANALYSIS OF THE PYTHON DATASET USING STATISTICAL METHODS**

*In recent years, intellectual systems have been gaining popularity, which successfully combine statistical methods for processing text corpora in various programming languages with machine learning methods. The paper analyzes the corpus of texts of programs in the Python language. In particular, a block of imported libraries was studied, statistical data were obtained on the actual use of plug-in libraries and latent trends. Rating tables have been received for a number of categories of libraries.*

**Keywords:** *big data, machine learning in programming, python libraries, python dataset, statistical methods.*

**Швыров Вячеслав Владимирович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры информационных образовательных технологий и систем ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск.

**E-mail:** slavik\_asas@mail.ru

**Shvyrov Vyacheslav Vladimirovich**, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, a dosent of the Chair «Information educational technologies and systems» State Educational Establishment of Higher Professional Education «Luhansk State Pedagogical University».

**Капустин Денис Алексеевич**, к.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой информационных образовательных технологий и систем, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск.

**E-mail:** kap-kapchik@mail.ru

**Kapustin Denis Alekseevich**, Candidate of Technical Sciences, a dosent of the Chair «Information educational technologies and systems» State Educational Establishment of Higher Professional Education «Luhansk State Pedagogical University».

**Шулика Татьяна Игоревна**, ассистент кафедры информационных образовательных технологий и систем ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск.

**E-mail:** shulika-tatyana@mail.ru

**Shulika Tatyana Igorevna**, a chair assistant of «Information educational technologies and systems» State Educational Establishment of Higher Professional Education «Luhansk State Pedagogical University».

**Рецензент: Ермак Василий Петрович**, д.т.н. профессор кафедры пожарной безопасности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

*Статья подана 13.07.2022 года*

## ТРЕБОВАНИЯ

к оформлению статей для публикации в  
«ВЕСТНИК ЛУГАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»  
ГОУ ВО ЛНР «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****References латиницей****Фамилии, имя, отчество (ПОЛНОСТЬЮ), название статьи (на английском языке)***Аннотация (на английском языке)**Ключевые слова (на английском языке)***Сведения об авторах (на русском и английском языке), e-mail: (каждого автора)****Рецензент***Статья подана***ПРИМЕЧАНИЕ:****1. Место работы писать ПОЛНОСТЬЮ для сотрудников****ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».****State Educational Establishment of Higher Training of the Lugansk People's Republic "Lugansk Vladimir Dahl State University".****2. E-mail ОБЯЗАТЕЛЬНО** (если свою автор не указывает, то почту кафедры).**3. В сведениях об авторах статьи ФИО. указывать ПОЛНОСТЬЮ (на русском и английском языках).****4. Рецензент ФИО полностью ТОЛЬКО профессор или член ред. коллегии журнала (полное название место работы рецензента).****5. Распечатка на антиплагиат.**

**ВЕСТНИК: НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»**  
**№ 7 (61) 2022**

Оригинал-макет

Коломиец-Кириллова Е.А.

---

Подписано к печати 20.09.2022.  
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times  
Условных печатных стр. 35,77. Тираж 100 экз. Изд. № 01317.

---

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  
**Луганского государственного университета**  
**имени Владимира Даля**

*Свидетельство о регистрации серия МИ-СГР ИД 000003 от 20.11.2015 г.*

**Адрес издательства:** 91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20,а.

**Тел.:** (072) 138-34-80

**E-mail:** [izdat.lguv.dal@gmail.com](mailto:izdat.lguv.dal@gmail.com)

**http:** <http://izdat.dahluniver.ru/>