

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**



# **В Е С Т Н И К**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

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

**№ 5(59)  
2022**

*Научно-практическая конференция с международным участием  
посвященная V-летию Института гражданской защиты и  
80-ти летию со дня образования подпольной организации «Молодая гвардия»*

**«КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ – 2022»**

*3-8 апреля 2022 г.*

**Луганск 2022**

# ВЕСТНИК

ЛУГАНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

**№ 5 (59) 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.**

# VESTNIK

LUGANSK  
VLADIMIR DAHL  
STATE UNIVERSITY

**№ 5 (59) 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**

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,  
Слащев 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:** Малкин В.Ю.

**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

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 1. ТЕХНОСФЕРНАЯ И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОНОМИКУ ОТРАСЛИ<br>Гришко Д.М., Нагиба Е.И. -----                                           | 10 |
| ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ НАВОДНЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ<br>Друзь О.Н. -----                                                             | 14 |
| ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ОБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ<br>Друзь О.Н., Житная С.В. -----                                                                                                    | 17 |
| ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ АНТИКРИЗИСНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЕРСОНАЛА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ<br>Дынник И.В., Гришко Д.М., Хамутовская Ю.П. -----            | 20 |
| ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ<br>Кобылинская Е.Ю., Малкин В.Ю. -----                                                                       | 24 |
| ТЕХНОСФЕРА - НАША ПРИРОДНАЯ СРЕДА<br>Кравцова О.А., Павленко А.Т. -----                                                                                                                   | 27 |
| СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА НА ТЕРРИТОРИИ ЛНР<br>Максюк И.К. -----                                                                                                | 30 |
| ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ ОЦЕНКА ОБЪЁМА БИОГАЗА, ВЫДЕЛЯЕМОГО НА ПОЛИГОНАХ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ<br>Малкин В.Ю., Павленко А.Т., Кравцова О.А. -----                                                | 34 |
| ВЕРОЯТНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ АНАЛИЗЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РИСКОВ В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА-СРЕДА»<br>Медяник В.А., Сало В.И., Некрутенко В.В., Рубаненко В.Ю. ----- | 37 |
| СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЗНАНИЙ<br>Орешкин М.В., Орешкина М.А., Ермак В.П., Ермак А.Д. -----                                                                                      | 43 |
| КОМПЬЮТЕРНЫЕ ВИДЕО- И АУДИОЛЕКЦИИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ<br>Орешкин М.В., Орешкина М.А., Ермак А.Д. -----                                                                                     | 51 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ И ИНТЕРНЕТ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА<br>Орешкин М.В., Орешкина М.А., Ермак В.П. -----                                                                 | 56 |
| МЧС КАК СУБЪЕКТ БОРЬБЫ С ТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ<br>Хамутовская Ю.П., Малкин В.Ю., Дынник И.В. -----                                                                               | 62 |

### СЕКЦИЯ 2. БЕЗОПАСНОСТЬ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

|                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| МЕТОД ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ГИДРОПРИВОДА<br>Гусенцова Я.А., Высоцкая Н.Д. -----                                                                            | 66 |
| ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ<br>Гусенцова Я.А., Малкин В.Ю., Кочнева О.В. ----- | 69 |
| ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ<br>Гусенцова Я.А., Назаренко Б.В., Письменная С.А. -----                                                   | 75 |
| ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТЫ УЗЛОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ<br>Киричевский Р.В., Павленко А.Т., Рожков И.Н. -----                            | 79 |

**ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОВ**

**Родыгина М.М., Максюк И.К., Рожков В.Н. ----- 85**

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО  
ПРИВОДА ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ**

**Родыгина М.М., Бугаенко В.В., Понамаренко А.Н. ----- 89**

**ДИФФУЗИЯ В ПРОЦЕССАХ ГОРЕНИЯ**

**Филиппенко Ю.Н., Голдованский А.В., Щербак В.Н. ----- 92**

**СЕКЦИЯ 3. ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ  
В ТЕХНИЧЕСКИХ И ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ**

**НЕОБХОДИМОСТЬ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ БИОМЕТРИЧЕСКОГО  
ГОЛОСОВОГО ОТПЕЧАТКА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КИБЕРМОШЕННИКОВ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ**

**Герасимов В.М., Маслова М.А. ----- 95**

**РАМКИ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ИНДУСТРИИ 4.0**

**Дяченко С.В., Гвоздюкова С.Н. ----- 103**

**ОЦЕНКА ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ДАННЫХ СИСТЕМ  
УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
ОБЪЕКТОВ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ**

**Орешкин М.В., Денисенко И.А., Ермак В.П., Малкин В.Ю., Панков А.А. ----- 108**

**СЕКЦИЯ 4. ЭКОНОМИКА ТЕХНОСФЕРНОЙ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

**КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ – ОСНОВА УСТОЙЧИВОЙ ТОРГОВЛИ  
ВЫСОКОМАРЖИНАЛЬНЫМИ ТОВАРАМИ**

**Болдырев К.А., Дудченко О.Г. ----- 112**

**КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ РАЗВИТИЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА**

**Денисенко И.А., Пономарёв А. А., Денисенко Е.Г. ----- 117**

**ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ  
ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ПОЖАРА**

**Орешкина М.В., Пономарёв А.А., Орешкина М.А. ----- 121**

**СЕКЦИЯ 5. ТЕХНОЛОГИЯ, МАТЕРИАЛЫ, ТРАНСПОРТ,  
БЕЗОПАСНОСТЬ И ЛОГИСТИКА: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

**МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТОРМОЗНЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ  
ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ МОСТОВОГО ТИПА**

**Будиков Л.Я. ----- 126**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ**

**Ворошилов А.И., Кривоногова А.Е., Буйвол П.А., Макарова И.В. ----- 134**

**МЕТОДЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

**Губачева Л.А., Малкин В. Ю., Михайлов Д.В., Назаренко Б.В. ----- 138**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАСИТЕЛЕЙ БОКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ  
ШАХТНОЙ ПОДВЕСНОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГИ**

**Гутаревич В.О., Рябко К.А., Рябко Е.В. ----- 144**

**МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ**

**Макарова И.В., Бойко А.Д., Гумеров Р.А. ----- 149**

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ  
ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

**Макарова И.В., Габсалихова Л.М., Мухаметдинов Э.М., Буйвол П.А., Галиев Ш.А. ----- 153**

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОБУСОВ НЕФАЗ

Макарова И.В., Мухаметдинов Э.М., Габсалихова Л.М., Мавляутдинова Г.Р.-----158

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Макарова И.В., Фатихова Л.Э., Буйвол П.А., Парсин Г.А.-----162

## РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Малкин В.Ю., Михайлов Д.В., Киричевский Р.В.-----167

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АВТОСБОРОЧНОЙ  
ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Чернов А.О., Буйвол П.А., Макарова И.В.-----171

## ДРУГИЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУКИ

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫМ  
РАЗВИТИЕМ РЕГИОНОВ

Барышникова Л.П.-----176

ОБУЧАЕМОЕ УСТРОЙСТВО, МОДЕЛИРУЮЩЕЕ ВОСПРИЯТИЕ И РАСПОЗНОВАНИЕ  
ОБРАЗОВ ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ

Бобровский Г.А.-----180

## ПРОБЛЕМА ВЗАИМОСВЯЗИ ЯЗЫКА, СОЗНАНИЯ И МЫШЛЕНИЯ

Воронцова Т.Ю.-----185

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПЛАЗМЕННО-  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Гаврыш В.С.-----189

## СОЗДАНИЕ ВОСПИТЫВАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ВЫСШЕМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ

Кузь Е.В.-----193

КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЯМОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ  
АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ С ПЛОТНО ЗАПОЛНЕННЫМИ МАТРИЦАМИ БОЛЬШОГО  
ПОРЯДКА В ЗАДАЧАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Остапушенко Д.Л.-----196

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ОБРАЗЦОВ СПЕЦИАЛЬНОЙ СТАЛИ. ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ  
МНОГОЦЕЛЕВЫХ ГУСЕНИЧНЫХ И КОЛЕСНЫХ МАШИН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СОБСТВЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Парсентьев О.С.-----203

АКУСТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕФЛЕКТОРА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА  
МЕЛКОГАБАРИТНЫЕ ПЛОСКОСТНЫЕ ДЕТАЛИ ПРИ ОБРАБОТКЕ В «U»-ОБРАЗНОМ  
РЕЗЕРВУАРЕ ВИБРОСТАНКА

Рубаненко В.Ю., Мицык В.Я.-----221

ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ НА ЖИДКОСТЕКЛЬНОМ СВЯЗУЮЩЕМ С  
УПРАВЛЯЕМОЙ РАЗУПРОЧНЯЕМОСТЬЮ ЛИТЕЙНОГО СТЕРЖНЯ

Свинооров Ю.А., Гутько Ю.И.-----226

АНАЛИЗ ПРИЧИН НЕСТАБИЛЬНОСТИ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ, ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Свинооров Ю.А.-----231

ТЕХНОЛОГИЯ И КОНСТРУКЦИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
КОРПУСОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

Семеняка Л.И., Матусевич И.И.-----238

## ОБРАБОТКА СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВАМИ В КОНИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ

Солодовник М.Д., Ясуник С.Н., Волков И.В., Кузнецова М.Н.-----242

---

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ СКВОЗЬ ПРИЗМУ  
ЦЕННОСТНО-НРАВСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ

**Хорошко В.О.** -----244

НЕКОТОРЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГАУССОВСКИХ СЛУЧАЙНЫХ  
ПОЛЕЙ В  $n$ -МЕРНОМ ЕВКЛИДОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ  $R^n$  ЧАСТЬ II: ОБ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ  
ДВУХ ГАУССОВСКИХ МЕР, ПОРОЖДЕННЫХ РЕШЕНИЯМИ ДВУМЯ РАЗНЫМИ КРАЕВЫМИ  
ЗАДАЧАМИ ДИРИХЛЕ-НЕЙМАНА В ЕВКЛИДОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ  $R^n$

**Шаташвили А.Д., Папазова Е.Н., Фомина-Шаташвили Т.А., Ивахненко Н.Н.** -----250

ДИАГНОСТИКА КРУПНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

**Шатова Н.А., Мирошниченко О.Н., Безкоровайный В.С.** -----262

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОМ ТАНГАЖА КВАДРОКОПТЕРА  
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО ПИД-РЕГУЛЯТОРА

**Шульгин С.К., Синепольский Д.О., Ганнота Г.В.** -----266

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОТИВОРЕЗОНАНСНОЙ  
УСТОЙЧИВОСТИ ЗУБЧАТОГО РЕДУКТОРА

**Утутов Н.Л.** -----270

## CONTENTS

### SECTION 1. TECHNOSPHERE AND FIRE SAFETY

|                                                                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| IMPROVING THE RELIABILITY OF RAILWAY INFRASTRUCTURE AS A FACTOR AFFECTING THE SAFETY AND ECONOMY OF THE INDUSTRY             |           |
| <b>Grishko D.M., Nagiba E.I.</b> -----                                                                                       | <b>10</b> |
| FORECASTING OF AMAZING FACTORS OF FLOODING FOR THE PURPOSE OF WORKING OUT OF ACTIONS FOR SAFETY                              |           |
| <b>Druz O.N.</b> -----                                                                                                       | <b>14</b> |
| INCREASE OF STABILITY OF WORK OF OBJECTS OF MANAGING                                                                         |           |
| <b>Druz O.N., Zhytnaya S.V.</b> -----                                                                                        | <b>17</b> |
| THEORETICAL ASPECTS OF ADMINISTRATION OF ANTI-CRISIS ACTIVITIES OF PERSONNEL AT ENTERPRISES OF THE LUHANSK PEOPLE'S REPUBLIC |           |
| <b>Dynnik I.V., Khamutovskaya Y.P.</b> -----                                                                                 | <b>20</b> |
| ENVIRONMENTAL IMPACT OF HOUSEHOLD SOLID WASTE ON AND POSSIBLE SOLUTIONS                                                      |           |
| <b>Kobylinskaya E.Y., Malkin V.Y.</b> -----                                                                                  | <b>24</b> |
| TECHNOSPHERE - OUR NATURAL ENVIRONMENT                                                                                       |           |
| <b>Kravtsova O.A., Pavlenko A.T.</b> -----                                                                                   | <b>27</b> |
| MODERN PROBLEMS OF AIR POLLUTION IN THE TERRITORY OF THE LPR                                                                 |           |
| <b>Maksyuk I.K.</b> -----                                                                                                    | <b>30</b> |
| AN APPROXIMATE ESTIMATE LANDFILL GAS ALLOCATED TO SOLID WASTE LANDFILL                                                       |           |
| <b>Malkin V.Y., Pavlenko A.T., Kravtsova O.A.</b> -----                                                                      | <b>34</b> |
| THE PROBABILITY OF AN ERROR IN THE COMPUTER ANALYSIS OF PRODUCTION RISKS IN THE SYSTEM «MAN-MACHINE-ENVIRONMENT»             |           |
| <b>Medyanik V.A., Salo V.I., Nekrutenko V.V., Rubanenko V.Yu.</b> -----                                                      | <b>37</b> |
| SYSTEMS OF COMPUTER DIAGNOSTICS OF KNOWLEDGE                                                                                 |           |
| <b>Oreshkin M., Oreshkina M., Ermak V., Ermak A.</b> -----                                                                   | <b>43</b> |
| COMPUTER VIDEO AND AUDIO LECTURES IN THE EDUCATIONAL PROCESS                                                                 |           |
| <b>Oreshkin M., Oreshkina M., Ermak A.</b> -----                                                                             | <b>51</b> |
| THE USE OF COMPUTER AND INTERNET TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE UNIVERSITY                                   |           |
| <b>Oreshkin M., Oreshkina M., Ermak V.</b> -----                                                                             | <b>56</b> |
| THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS AS A SUBJECT OF STRUGGLE WITH TERRORIST ACTIVITIES                                      |           |
| <b>Khamutovskaya Y.P., Malkin V.Y., Dynnik I.V.</b> -----                                                                    | <b>62</b> |

### SECTION 2. SECURITY OF ENGINEERING SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| THE METHOD OF CHARACTERISTICS FOR INVESTIGATION OF DYNAMICS OF HYDRAULIC DRIVE                          |           |
| <b>Gusentsova Ya., Vysotskaya N.</b> -----                                                              | <b>66</b> |
| OPTIMIZATION OF DESIGN PARAMETERS OF COMPLEX HYDRAULIC SYSTEMS FOR SECURITY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES   |           |
| <b>Gusentsova Ya., Malkin V., Kochneva O.</b> -----                                                     | <b>69</b> |
| ISSUES OF RELIABILITY OF VENTILATION SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES                                  |           |
| <b>Gusentsova Ya., Nazarenko B., Pismennaya S.</b> -----                                                | <b>75</b> |
| PROVIDING THE RECOVERY PROCESS OF OPERATION THE ENGINEERING SYSTEMS NOD'S OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES |           |
| <b>Kirichevskiy R.V., Pavlenko A.T., Rojkov I.N.</b> -----                                              | <b>79</b> |
| PNEUMATIC FUZZY LOGIC ELEMENTS FOR DRIVE CONTROL SYSTEMS                                                |           |
| <b>Rodygina M., Maksyuk I., Rojkov I.</b> -----                                                         | <b>85</b> |
| DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE HYDRAULIC DRIVE OF ENGINEERING SYSTEMS                                   |           |
| <b>Rodygina M., Bugaenko V., Ponamarenko A.</b> -----                                                   | <b>89</b> |

## DIFFUSION IN COMBUSTION PROCESSES

**Filipenko Yu., Goldovanskiy A., Shcherbak V.** ----- 92

## SECTION 3. PROBLEMS OF SECURITY IN TECHNICAL AND DIGITAL SYSTEMS

## THE NEED FOR A COMPREHENSIVE SYSTEM TO PROTECT THE BIOMETRIC VOICE FINGERPRINT FROM THE EFFECTS OF CYBERCRIMINALS ON THE INTERNET

**Gerasimov V.M., Maslova M.A.** ----- 95

## CYBERSECURITY FOR THE INTERNET OF THINGS IN INDUSTRY 4.0

**Dyachenko S.V., Hvozdiukova S.N.** ----- 103

## EVALUATION OF THE PROBLEM OF PROTECTION OF TELECOMMUNICATION DATA OF REMOTE MONITORING AGRICULTURES SYSTEMS OF THE FIRE SAFETY OF OBJECTS AND WAYS OF INCREASING ITS CYBER SECURITY

**Oreshkin M., Denisenko I., Ermak V., Malkin V., Pankov A.** ----- 108

## SECTION 4. ECONOMICS OF TECHNOSPHERE AND FIRE SAFETY: PROBLEMS, DEVELOPMENT PROSPECTS

## COMPETITIVENESS OF THE ENTERPRISE IS THE BASIS FOR SUSTAINABLE TRADE IN HIGH-MARGIN GOODS

**Boldyrev K.A., Dudchenko O.G.** ----- 112

## CLASSIFICATION OF STAFF DEVELOPMENT METHODS

**Denisenko I.A., Ponomarev A.A., Denisenko E.G.** ----- 117

## ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC MECHANISM TO PREVENT ECONOMIC DAMAGE FROM FIRE

**Oreshkin M.V., Ponomarev A.A., Oreshkin M.A.** ----- 121

## SECTION 5. TECHNOLOGY, MATERIALS, TRANSPORT, SAFETY AND LOGISTICS: DEVELOPMENT PROSPECTS

## MULTIPARAMETRIC OPTIMIZATION OF BRAKING PROCESSES OF MOVEMENT OF OVERHEAD CRANES

**Budikov L.Ya.** ----- 126

## USING MACHINE LEARNING IN VEHICLE OPERATION

**Voroshilov A.I., Krivonogova A.E., Buyvol P.A., Makarova I.V.** ----- 134

## EMERGENCY PREVENTION METHODS

**Gubacheva L.A., Malkin V. Yu., Mikhailov D.V., Nazarenko B.V.** ----- 138

## JUSTIFICATION DAMPERING OF LATERAL VIBRATIONS PARAMETERS OF MINE SUSPENDED MONORAIL

**Gutarevich V.O., Ryabko K.A., Ryabko E.V.** ----- 144

## METHODS OF ENSURING THE SAFETY OF PERSONAL MOBILITY EQUIPMENT

**Makarova I.V., Boyko A.D., Gumerov R.A.** ----- 149

## ENSURING RELIABILITY OF THE TRANSMISSION DURING OPERATION STAGE

**Makarova I.V., Gabsalikhova L.M., Mukhametdinov E.M., Buyvol P.A., Galiev S.A.** ----- 153

## RELIABILITY STUDY OF NEFAZ BUSES

**Makarova I.V., Mukhametdinov E.M., Gabsalikhova L.M., Mavlyautdinova G.R.** ----- 158

## PROBLEMS OF INCREASING MOTIVATION IN TRAINING ENGINEERS USING REMOTE TECHNOLOGIES

**Makarova I.V., Fatikhova L.E., Buyvol P.A., Parsin G.A.** ----- 162

## CALCULATION OF THE ELECTRICAL NETWORK RELIABILITY

**Malkin V.Y., Mikhaylov D.V., Kirichevskiy R.V.** ----- 167

## IMPROVING THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THE VEHICLE ASSEMBLY LINE WITH THE USE OF DIGITAL TWINS

**Chernov A.O., Buyvol P.A., Makarova I.V.** ----- 171

## OTHER DIRECTIONS OF SCIENCE

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF<br>MANAGEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF REGIONS<br><b>Baryshnikova L.P.</b> -----                                                                                                                                                                                                                            | 176 |
| TRAINING DEVICE SIMULATING THE PERCEPTION AND RECOGNITION OF<br>IMAGES OF THE MOTION OF CONTROL OBJECTS<br><b>Bobrowskiy G.A.</b> -----                                                                                                                                                                                                                        | 180 |
| THE PROBLEM OF INTERCONNECTION BETWEEN LANGUAGE,<br>CONSCIOUSNESS AND THINKING<br><b>Vorontsova T.Yu.</b> -----                                                                                                                                                                                                                                                | 185 |
| DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR AUTOMATIC CONTROL OF THE PLASMA-MECHANICAL<br>PROCESSING PROCESS<br><b>Gavrysh V.S.</b> -----                                                                                                                                                                                                                                      | 189 |
| EDUCATIONAL ENVIRONMENT CREATION IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION<br><b>Kuz E.V.</b> -----                                                                                                                                                                                                                                                                    | 193 |
| COMPUTER IMPLEMENTATION OF A DIRECT METHOD FOR SOLVING SYSTEMS<br>OF LINEAR ALGEBRAIC EQUATIONS WITH DENSE HIGH-ORDER MATRICES IN<br>PROBLEMS OF COMPUTATIONAL ELECTRODYNAMICS<br><b>Ostapushchenko D.L.</b> -----                                                                                                                                             | 196 |
| INFLUENCE OF THE SHAPE OF SAMPLES OF SPECIAL STEEL USED FOR<br>PROTECTION MULTI-PURPOSE TRACKED AND WHEELED VEHICLES ON THE<br>CHARACTERISTICS OF THEIR OWN MAGNETIC FIELD<br><b>Parsentev O.S.</b> -----                                                                                                                                                      | 203 |
| ACOUSTIC RADIATION OF THE IMPACT OF THE DEFLECTOR OF THE<br>WORKING MEDIUM ON SMALL-SIZED PLANAR PARTS DURING PROCESSING<br>IN THE «U»-SHAPED TANK OF THE VIBRATION STATION<br><b>Rubanenko V. Yu., Mitsyk V. Y.</b> -----                                                                                                                                     | 221 |
| PRODUCTION OF STEEL CASTINGS ON A LIQUID-GLASS BINDER WITH<br>CONTROLLED SOFTENING OF THE CASTING ROD<br><b>Svinoroev Yu.A., Gutko Yu.I.</b> -----                                                                                                                                                                                                             | 226 |
| ANALYSIS OF THE CAUSES OF INSTABILITY OF THE QUALITY OF TECHNOLOGICAL<br>PROPERTIES OF TECHNICAL LIGNOSULFONATES, SEARCH FOR OPTIMAL TECHNOLOGICAL<br>SOLUTIONS<br><b>Svinoroev Yu.A.</b> -----                                                                                                                                                                | 231 |
| TECHNOLOGY AND DESIGN TOOL FOR MANUFACTURING HYDRAULIC CYLINDER BODES<br><b>Semenyaka L.I., Matusevich I.I.</b> -----                                                                                                                                                                                                                                          | 238 |
| TREATMENT WITH FREE ABRASIVES IN A CONICAL CHAMBER<br><b>Solodovnik M.D., Yasunik S.N., Volkov I.V., Kuznetsova M.N.</b> -----                                                                                                                                                                                                                                 | 242 |
| CHARACTERISTICS OF DECISION-MAKING THROUGH THE PRISM OF<br>VALUE-MORAL DIMENSION<br><b>Khoroshko V.</b> -----                                                                                                                                                                                                                                                  | 244 |
| SOME LINEAR EQUIVALENT TRANSFORMATIONS OF GAUSSIAN RANDOM FIELDS IN<br>$n$ -DIMENSIONAL EUCLIDEAN SPACE. PART II: ON THE EQUIVALENCE OF TWO GAUSSIAN<br>MEASURES GENERATED BY SOLUTIONS TO TWO DIFFERENT DIRICHLE-NEYMANN<br>BOUNDARY PROBLEM IN EUCLIDE SPACE $R^n$<br><b>Shatashvili A.D., Papazova E.N., Fomina-Shatashvili T.A., Ivakhnenko N.N.</b> ----- | 250 |
| THE DIAGNOSTICS OF LARGE ELECTRIC MACHINES<br><b>Shatova N.A., Miroshnichenko O.N., Bezkorovaynyi V.S.</b> -----                                                                                                                                                                                                                                               | 262 |
| ANALYSIS OF THE FUZZY PID CONTROLLER BASED QUADROCOPTER PITCH<br>ANGLE CONTROL SYSTEM<br><b>Shul'gin S.K., Sinopol'skij D.O., Gannota G.V.</b> -----                                                                                                                                                                                                           | 266 |
| METHOD OF INCREASING CONTROVERSIAL SUSTAINABILITY GEAR GEAR<br><b>Ututov N.L.</b> -----                                                                                                                                                                                                                                                                        | 270 |

**СЕКЦИЯ 1****ТЕХНОСФЕРНАЯ И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

УДК 629.067

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОНОМИКУ ОТРАСЛИ****Гришко Д.М., Нагиба Е.И.****IMPROVING THE RELIABILITY OF RAILWAY INFRASTRUCTURE AS A FACTOR AFFECTING THE SAFETY AND ECONOMY OF THE INDUSTRY****Grishko D.M., Nagiba E.I.**

*В статье рассмотрены проблемы надежности объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта. Приводятся способы повышения надежности технических систем на всех этапах их жизненного цикла. Описывается роль предложенных мероприятий в области безопасности и экономической рентабельности железнодорожной отрасли.*

**Ключевые слова:** система, надежность, инфраструктура, транспорт, отказ, эксплуатация.

**Состояние проблемы.** Четкая и непрерывная работа железнодорожного транспорта зачастую зависит от таких показателей как надежность и безопасность. В железнодорожной отрасли этим вопросам уделяется большое внимание.

Нынешний уровень надежности еще далек от необходимого в современных условиях эксплуатации подвижного состава. От низкой надежности подвижного состава существенный экономический ущерб терпит экономика и безопасность железнодорожной отрасли.

**Цель работы** – разработка мероприятий для повышения надежности объектов железнодорожной инфраструктуры, исследование её влияния на безопасность и экономику отрасли.

**Изложение основного материала.** Факторами формирующими, сложность проблемы надежности железнодорожной инфраструктуры и транспортных систем являются:

– сбой и отказы в работе определяются на больших расстояниях: задержка движения на относительно короткий промежуток времени вызывает трудности в эксплуатационной работе, проявляющиеся в течение суток и более;

– непрерывность транспортного процесса в течение суток;

– сложность устранения последствий отказов в работе транспортной инфраструктуры, когда для ввода в график задержанных поездов нужны дополнительные нитки графика, т.е. резервная пропускная способность, а для остановки задержанного подвижного состава – резервные пути на железнодорожных станциях;

– разветвленность транспортной инфраструктуры и сложность ее управления, когда отказы в одном элементе технической системы вызывают необходимость в прогнозировании мер по предупреждению последствий этих отказов в других ее элементах, например, из-за задержки подвижного состава [1].

Последствия отказов транспортных средств, технических систем и объектов можно разделить на следующие категории:

– прямые потери из-за отказа, аварии, катастрофы (простой отказавшего оборудования, производства, т. е. нарушение выполнения заданных задач и функций; вредное влияние на жизнь и здоровье людей; на экологию и окружающую среду);

– затраты на восстановление вышедших из строя технических средств, восстановление их работоспособности и ремонт.

Более 30 % работников локомотивного хозяйства занято на ремонте локомотивов. Затраты на ремонт подвижного состава составляют немаловажную часть эксплуатационных расходов трансконтинентального концерна «Железные дороги

Донбасса». Из-за недостаточной надежности объектов железнодорожной инфраструктуры ремонт каждого локомотива за весь срок его эксплуатации обходится до 10 раз дороже его изначальной стоимости. Если к этим расходам прибавить затраты при задержке поездов по техническим причинам, снижение провозной и пропускной способности железной дороги, то очевидно влияние надежности на показатели работы объектов железнодорожной инфраструктуры.

На предприятиях транснационального концерна «Железные дороги Донбасса» за 12 месяцев 2020 года зафиксировано 849 случаев отказов в работе технических средств инфраструктуры и подвижного состава, что привело к задержкам пассажирских поездов – на 56 часов 14 мин, грузовых на 179 часов 45 мин.

В сравнении с 2020 годом за 12 месяцев 2021 предприятиями – участниками ТК «Железные дороги Донбасса» на 1% уменьшено общее количество отказов в работе технических средств и подвижного состава.

Одной из главных причин низкой надежности железнодорожного транспорта является неэффективность системы обеспечения функционирования технического и технологического комплекса железнодорожной отрасли [2].

Для решения задачи повышения надежности железнодорожного транспорта необходим комплексный подход.

К основным мероприятиям по обеспечению требуемой долговечности и безотказности железнодорожного транспорта можно отнести:

- организация системы мониторинга технического состояния каждой единицы подвижного состава с целью введения смешанной стратегии обслуживания и ремонта, сочетающую планово-предупредительную систему и систему ремонта по фактическому состоянию железнодорожного транспорта;

- активизация деятельности отраслевого научного комплекса в области повышения его безотказности и долговечности железнодорожной инфраструктуры;

- стимулирование заинтересованности ремонтников и производителей железнодорожной техники в увеличении долговечности и безопасности вагонов и локомотивов;

- формирование системы разработки, поставки и сервисного сопровождения аппаратуры для диагностики и технологического оборудования для подразделений ремонта и обслуживания железнодорожной техники;

- совершенствование системы подготовки и подбора кадров.

Так как любой объект железнодорожного транспорта зачастую состоит из большого количества элементов, то рассчитывать требуемые

показатели надежности каждого из них задача трудоемкая и сложная. Еще сложнее связать все эти показатели и определить подходящие значения показателей надежности для каждого объекта железнодорожного транспорта в целом.

**Пути решения.** Для осуществления вышеперечисленных рекомендаций вводится программа для обеспечения надежности. Для конкретного объекта железнодорожной инфраструктуры программа должна включать следующий комплекс мероприятий [3].

1. На этапе разработки эскизного проекта системы, технического задания и технического предложения:

- определение вероятных критериев отказов технических систем;

- анализ, сбор и обработка данных о надежности аналогичных систем, их составных частей, элементов и комплектующих;

- задание норм надежности составных частей, подсистем, комплексов, сборочных единиц, деталей, узлов и других элементов системы;

- разработка предложений по обеспечению надежности составных частей, по защите изделий от различных видов перегрузок (электрических, механических, климатических и др.);

- обоснование номенклатуры и норм показателей надежности;

- выбор качественных комплектующих и материалов будущего изделия;

- расчет надежности по параметрам долговечности, износостойкости, прочности, и других видов разрушений;

- проработка предложений по обеспечению безопасности;

- исследование надежности составных частей, технологических процессов, определение норм расхода резервных частей, планов испытаний, предельно допустимых нагрузок;

- анализ надежности выбранного варианта конструкции технической системы (эта работа выполняется постоянно по мере разработки системы, уточнения структуры и конструкторских решений составных частей, получения результатов исследований и испытаний, уточнения информации о надежности комплектующих элементов и др.);

- создание ограничительных требований на комплектующие детали, элементы, материалы, технологические операции и пр.;

- создание методик и программ испытаний всех видов.

2. На этапе технического проекта:

- проверка макетов, предварительная оценка надежности составных частей технической системы;

- исследование причин возникновения отказов, обнаруженных при испытаниях макетов, уточнение критериев отказов и предельных состояний;

– корректирование расчетов, выполненных в эскизном проекте, с учетом принятых решений по конструкции и структуре изделия, результатов исследования и испытании макетов, образцов, комплектующих технических систем, элементов конструкции и других уточненных данных по надежности составных частей; корректирование допустимых нагрузок и др.

3. На этапе разработки конструкторской документации:

– внесение требований по надежности объекта в конструкторскую документацию;

– разработка подраздела «Критерии отказов и предельных состояний» в документации;

– уточнение конструкторских документов по результатам испытаний всех видов, по результатам апробации технологий изготовления;

– создание методики и программы испытаний по надежности технических систем;

– создание методов оценки надежности согласно результатам испытаний;

– проработка вопросов повышения надежности изделий путем унификации и стандартизации элементов;

– разработка мероприятий метрологического обеспечения производства и использования изделия;

– создание конструкторской документации на упаковку и транспортирование технической системы;

– разработка эксплуатационной и ремонтной документации.

4. На этапе изготовления системы:

– анализ готовности предприятия выпустить изделие с необходимыми требованиями по надежности;

– введение гибких производственных комплексов;

– аттестация технологических процессов;

– применение новых методик производства и организации труда;

– механизация и автоматизация технологических процессов;

– входной контроль качества сырья, материалов и комплектующих системы;

– внедрение автоматизированных систем управления;

– повышение стабильности и точности технологических процессов;

– сертификация изделий, методов испытаний, технологических процессов;

– осуществление мероприятий по повышению безопасности и надежности технологических процессов;

– ускоренные итоговые испытания,

обеспечение технологической дисциплины, технологический прогон и обкатка технической системы, аттестация рабочих мест;

– итоговые испытания с моделированием реальных условий эксплуатации.

5. На этапе эксплуатации системы:

– анализ, сбор и обработка информации о надежности объекта железнодорожной инфраструктуры на этапе эксплуатации;

– осуществление мероприятий связанных с автоматизированным контролем эксплуатационных параметров;

– исследование причин отказов, возникающих при эксплуатации железнодорожного транспорта и объектов инфраструктуры, осуществление мероприятий по их предупреждению;

– введение технических средств диагностики;

– исследование эффективности работы системы ремонта и технического обслуживания;

– уточнение ремонтной и эксплуатационной документации;

– регулярное техническое обслуживание технической системы;

– введение систем технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию;

– проведение мероприятий по повышению надежности заданных частей;

– организация мероприятий по модернизации техники;

– восстановление изношенных элементов системы;

– осуществление мероприятий по соблюдению правил и режимов эксплуатации объектов железнодорожной инфраструктуры;

– организация мероприятий по консервации и хранению изделий;

– обучение обслуживающего персонала, повышение их квалификации.

Надежность объектов железнодорожной инфраструктуры необходимо связывать с экономическими факторами работы железнодорожной отрасли, которые обобщенно можно оценить суммарными расходами на всех этапах жизненного цикла изделия.

$$\sum Z = Z_p + Z_{из} + Z_{э} + Z_y ; \quad (1)$$

где  $\sum Z$  – суммарные затраты на всех этапах жизненного цикла изделия;

$Z_p$  – затраты на разработку;

$Z_{из}$  – затраты на изготовление;

$Z_{э}$  – затраты при эксплуатации;

$Z_y$  – затраты при утилизации.

Затраты на каждом из этапов жизненного цикла технических систем значительно влияют не только друг на друга, но и на общие затраты. Исходя из

этого, чтобы получить минимальные суммарные затраты, очень важно правильно рассчитать затраты для каждого этапа жизненного цикла изделий. [4].

В данный момент времени нет однозначной методики по оптимизации суммарных затрат. В отдельных случаях затраты, понесенные при проектировании и разработке технической системы, компенсируются в ремонте, эксплуатации, при утилизации изделия.

Надежность оказывает определяющее влияние не только на экономические показатели, но и на безопасность функционирования объектов железнодорожной инфраструктуры.

**Выводы.** Надёжность и безопасность на железнодорожном транспорте — это комплекс организационных и технических мероприятий, которые направлены на снижение вероятности возникновения факторов угрозы здоровью и жизни пассажиров, сохранности объектов инфраструктуры и подвижного состава, сохранности грузов при перевозках, а также экологической безопасности окружающей среды.

Надежность объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава требует постоянного внимания на всех этапах жизненного цикла.

Осуществление всех мероприятий по обеспечению требуемых показателей надежности должно основываться на экономических расчетах жизненного цикла изделия.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ветошкин А.Г. Надежность технических систем и техногенный риск/А.Г. Ветошкин. - Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003. - 150 с.

2. Надежность подвижного состава железнодорожного транспорта: учеб. пособие / В. В. Пигунов; М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2016. –202 с.

3. Прогрессивные технологии обеспечения безопасности движения поездов и сохранности перевозимых грузов : монография / В. А. Гапанович,

И. И. Галиев, Ю. И. Матяш, В. П. Клюка. – М. : ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2008. – 220 с.

4. Четвергов, В. А. Надежность локомотивов / В. А. Четвергов, А. Д. Пузанков. – М. :Маршрут, 2003. – 415 с.

**Grishko D.M., Nagiba E.I.**

#### IMPROVING THE RELIABILITY OF RAILWAY INFRASTRUCTURE AS A FACTOR AFFECTING THE SAFETY AND ECONOMY OF THE INDUSTRY

*The article deals with the problems of reliability of railway transport infrastructure. The ways of increasing the reliability of technical systems at all stages of their life cycle are given. The role of the proposed measures is described in the field of safety and economic profitability of the railway industry.*

**Keywords:** system, reliability, infrastructure, transport, failure, operation.

**Гришко Дмитрий Михайлович**, ассистент кафедры «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля».

**E-mail:** grishko\_dmitriy2700@mail.ru

**Grishko Dmitriy Mikhailovich**, Assistant of the Department "Technosphere Safety" of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Нагиба Евгений Игоревич**, ассистент кафедры «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля».

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

**Nagiba Evgeny Igorevich** Assistant of the Department "Technosphere Safety" of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич**, д.т.н., профессор кафедры «Аварийно-спасательных работ» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 574.2:57.03

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ НАВОДНЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ

Друзь О.Н.

### FORECASTING OF AMAZING FACTORS OF FLOODING FOR THE PURPOSE OF WORKING OUT OF ACTIONS FOR SAFETY

Druz O.N.

*В данной статье изложены причины, методы прогнозирования, инженерно-технические мероприятия по уменьшению последствий наводнения, которые могут быть использованы для проведения практических занятий в высших учебных заведениях. Выполнен обзор компьютерных программ, применяемых для прогнозирования поражающих факторов наводнения. Приведен пример проведения практического занятия.*

**Ключевые слова:** Прогнозирование, наводнение, безопасность, аварийно-спасательные работы.

**Введение.** Большинство несчастных случаев, часто с летальным исходом, происходит по причине не информированности людей и незнания, элементарных правил безопасности поведения при наводнениях и на воде [1].

Наводнение – наиболее распространенная природная опасность, которая происходит вследствие разрушения гидротехнических сооружений (плотины, водозаборного и водосборного сооружения, запруды), а также в результате подъема уровня воды в реке или озере по причине таяния снега или ледников, расположенных в их бассейнах и выпадения обильных осадков.

Прогнозирование наводнений – один из видов гидрометеорологических прогнозов. В зависимости от времени упреждения гидрометеорологические прогнозы подразделяются на краткосрочные (менее 12 – 15 суток) и долгосрочные (с большей долговременностью). Методы краткосрочного прогнозирования базируются на использовании закономерностей движения воды в руслах и закономерностей притока (стока) воды к рассматриваемым участкам от их русел, на расчетах перемещения и трансформации водного потока по отдельным участкам реки. Исходными данными при этом являются гидрографы (зависимости расходов воды от времени).

Долгосрочные гидрологические прогнозы применяются для предсказания масштабов наводнения. Методики долгосрочного прогнозирования максимальных расходов воды в рассматриваемых пунктах за период половодья базируются на зависимости между величиной расхода и стоком в половодье, которые устанавливаются для каждого пункта по материалам многолетних

гидрометеорологических наблюдений. Поражающим фактором наводнения являются разрушительное действие воды.

**Целью настоящей работы является** проанализировать существующие методы прогнозирования поражающих факторов наводнения для разработки мероприятий по обеспечению безопасности и внедрение данных методов в учебный процесс.

**Задачами данной работы являются** провести поиск информации о существующих методах прогнозирования поражающих факторов наводнения. Проанализировать возможные виды проведения аварийно-спасательных работ при наводнении для обеспечения безопасности. Предложить путь внедрения методик прогнозирования в учебный процесс университета.

**Изложение основных материалов.** При изучении дисциплины «Организация и ведение аварийно-спасательных работ» проводится практическое занятие на тему «Природные и техногенные опасности, их свойства и характеристики». Одной из составляющих данной темы является «Оценка обстановки на объекте хозяйствования при наводнении». На практике выявлено, что многие из студентов не представляют реальной угрозы от подобных чрезвычайных ситуаций. Часто наблюдается непонимание и нежелание изучения данной темы, что связано с недостаточной наглядностью, схематичностью и оторванностью от реальных условий и местности. Для повышения эффективности практического занятия по данной теме необходимо наиболее доходчиво и на конкретных примерах преподнести материал до студентов. Для самостоятельного или дистанционного изучения темы и методик прогнозирования обстановки при чрезвычайных ситуациях естественного характера необходимо использовать интерактивные методики обучения (учебные фильмы и компьютерные программы).

На сегодняшний день разработан ряд компьютерных специализированных программ, позволяющих провести прогноз обстановки при наводнениях и определить возможные потери и ущерб от них (табл. 1).

Таблица 1

## Программы для прогнозирования обстановки при наводнениях

| Название и ссылка для ознакомления                 | Назначение программы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Гидра» [3]                                        | Для расчета зон затопления и количественной оценки уровня безопасности при гидродинамической аварии на эксплуатируемых и проектируемых хранилищах шламов, жидких производственных отходов, стоков и технических вод. Позволяет определить показатели, характеризующие аварию и ее последствия; границы зоны затопления; время образования прорана и его размеры; расходы и объемы жидких отходов, выливающих по мере развития прорана; высота, скорость и гидродинамическое давление волны прорыва. Результаты расчета представляются в цифровом и графическом виде.                                        |
| «Волна» [4]                                        | Для прогнозирования масштабов затопления местности и характеристик волны прорыва при разрушении гидроузлов. Определяются параметры затопления местности: максимальные глубина и ширина затопления, скорость течения, время прихода фронта, гребня и хвоста волны прорыва, максимальный расход воды в створе, высота волны и максимальная отметка затопления. Результаты расчета автоматически наносятся на карту участка местности.                                                                                                                                                                         |
| «HydroCrash» [5]                                   | Для расчета развития гидродинамических аварий на накопителях жидких промышленных отходов. Позволяет определять: максимальные значения прорана, параметров потока в проране и по трассе растекания. Результаты выводятся на экран в графическом виде.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| «Оценка риска на гидротехнических сооружениях» [6] | Для определения величины финансового обеспечения и объемов страхования гражданской ответственности собственников за вред, причиненный в результате аварии на ГТС; составления деклараций безопасности; планирования аварийно-спасательных работ; обоснования мероприятий, снижающих негативные последствия аварий; определения сумм, необходимых для возмещения вреда от аварии и ликвидации ее последствий. Позволяет определить ущерб в целом и причиненный сельскому и лесному хозяйствам региона, основным и оборотным фондам, объектам жилого фонда и имуществу граждан, элементам транспорта и связи. |

Несмотря на существование коммерческих компьютерных программ, вместе с ними используются общеизвестные расчетные методики прогнозирования обстановки. Сложность широкого применения компьютерных программ, в том числе в процессе обучения, заключается в их высокой стоимости, также для ознакомления доступны только демонстрационные версии, которые не позволяют провести расчет для конкретного объекта хозяйствования с реальными условиями. Существенным отрицательным фактором является то, что студенту необходимо затратить достаточно много времени для приобретения навыков работы с компьютерными программами, о чем свидетельствуют их интерфейсы (рис. 1).

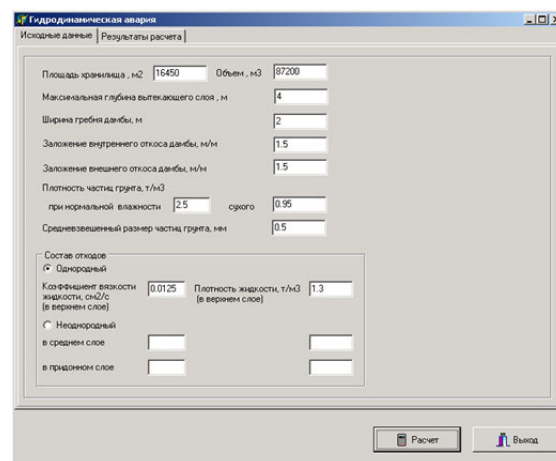
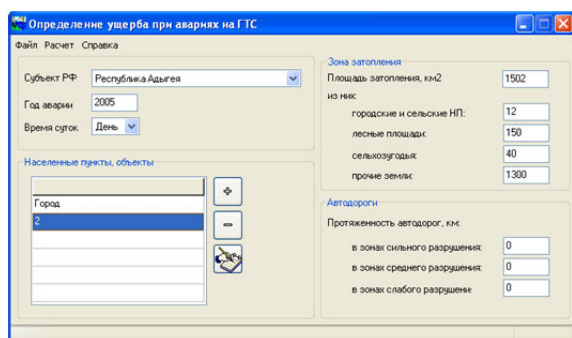
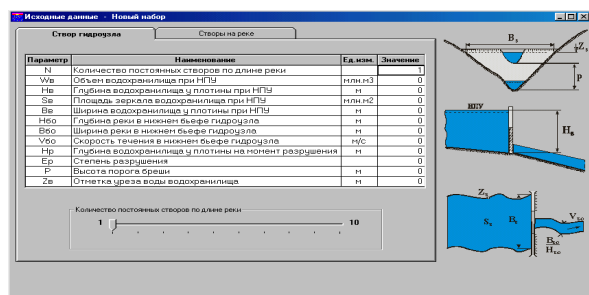


Рис. 1. Интерфейсы компьютерных программ для прогнозирования опасных факторов наводнения



Существующие расчетные методики являются схематичными, содержат громоздкие математические зависимости, достаточно сложны для понимания и самостоятельного овладения ими. В реальной чрезвычайной ситуации часто нет необходимости проводить точные расчеты, особенно для населения. Людям, проживающим в зоне возможного затопления, необходимо ориентировочно определить скорость затопления населенного пункта и масштабы затопления. Для таких целей необходимо использовать упрощенные расчетные методики.

**Результаты исследований.** В ЛГУ им. В. Даля была опробована и хорошо себя зарекомендовала методика использования реальных данных о местности и о гидрографах, которые находятся в нашем регионе. В методических указаниях [2] изложены общие положения, характеристики наводнения, виды гидродинамических аварий,

прогнозирование параметров прорыва плотин и мероприятия по уменьшению последствий аварий на гидродинамических опасных объектах.

Дана оценка обстановки при наводнении с рассмотрением очага поражения путём решения практических задач и, кроме того, решены практические задачи по определению поражающего действия волны затопления при прорыве плотин гидросооружений.

Предлагается на практических занятиях приводить шесть различных примеров по оценке обстановки в условиях наводнения. Провести разработку студентами рекомендаций по действию населения в условиях угрозы возникновения наводнений и в случае разрушения плотин. Для проверки усвоенных знаний задать варианты задач по оценке обстановки на объекте при наводнении.

На практических занятиях наиболее успешным оказалось выполнение нижеприведенной задачи, которая выполняется по индивидуальному варианту. Студенты обеспечиваются методикой решения задачи, картами местности, необходимыми справочными материалами.

Пример. Ливневый дождь вызвал наводнение в результате разлива реки Северский Донец. Поперечное сечение реки  $S=80 \text{ м}^2$ , максимальный расход воды в реке при обильных осадках составил  $Q_{\max}=80 \text{ м}^3/\text{с}$ , параметр смещения, который устанавливает смещение объекта от русла реки  $f=0,85$ .

Определить фактическую скорость затопления населенного пункта.

Решение.

1. Определяем максимальную скорость потока затопления по формуле:

$$V_{\max} = \frac{Q_{\max}}{S} = \frac{80}{80} = 1 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right). \quad (1)$$

2. Определяем фактическую скорость потока затопления по формуле:

$$V = V_{\max} \cdot f = 1 \cdot 0,85 = 0,85 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right). \quad (2)$$

3. Инженерно-технические мероприятия по уменьшению последствий наводнения:

- отведение паводковых вод;
- возведение дамбы;
- приведение работ по укреплению берегов.

Также рекомендуется провести оповещение населения о чрезвычайной ситуации, подготовиться к эвакуации и ведению аварийно-спасательных работ.

Вывод по задаче. При заданных исходных данных фактическая скорость затопления населенного

пункта составит  $0,85 \text{ м/с}$ . Прогнозирование возможной чрезвычайной ситуации следует вести заблаговременно, а также создать запас необходимых материалов и технических средств для проведения аварийно-спасательных работ.

**Выводы.** Представленная методика позволяет наглядно показать возможности прогнозирования обстановки при наводнении, побудить студентов к активному изучению темы занятия и разработке мероприятий по обеспечению безопасности, уменьшению возможных потерь и предотвращению чрезвычайных ситуаций.

### Л и т е р а т у р а

1. <https://mchs-lnr.su/>
2. Ревенко Ю. П. Методические указания к практическому занятию по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» (для студентов всех специальностей), по теме: «Оценка обстановки на объекте при наводнении» [текст] / Ю. П. Ревенко, В. И. Сало. – Луганск: ВГУ им. В. Даля, 2003. – 18 с.
3. <http://www.ireb.ru/offer/gidra/?type=4>
4. <http://www.ireb.ru/offer/volna/?type=4>
5. [http://www.ireb.ru/offer/hydro\\_crash/?type=4](http://www.ireb.ru/offer/hydro_crash/?type=4)
6. [http://www.ireb.ru/offer/oriska\\_gidroteh/?type=4](http://www.ireb.ru/offer/oriska_gidroteh/?type=4)

**Druz O.N.**

### FORECASTING OF AMAZING FACTORS OF FLOODING FOR THE PURPOSE OF WORKING OUT OF ACTIONS FOR SAFETY

*In given article the possible reasons of flooding are produced. Methods of forecasting of flooding are considered. Some technical actions for reduction of consequences of flooding are specified. Methods of forecasting of flooding can be used for carrying out of a practical training in higher educational institutions. The state-of-the-art review computer program which is executed are applied to forecasting of amazing factors of flooding. The example of carrying out of practical employment on discipline «the Organization and conducting a emergency salvage operations» is resulted. A theme of practical employment «Natural and technogenic dangers, their properties and characteristics».*

**Keywords:** forecasting, flooding, safety, a emergency salvage operations.

**Друзь Олег Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры «Аварийно-спасательных работ» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
E-mail: [druz238@gmail.com](mailto:druz238@gmail.com)

**Druz Oleg Nikolaevich**, Candidate of technical sciences, associate Professor of the chair «Emergency salvage operations» SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Аварийно-спасательных работ» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 15.05.2022

УДК 335.58(075.8)

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ОБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ****Друзь О.Н., Житная С.В.****INCREASE OF STABILITY OF WORK OF OBJECTS OF MANAGING****Druz O.N., Zhytnaya S.V.**

*В данной статье приведены рекомендации по повышению устойчивости работы объектов хозяйствования. Рассмотрены основы защиты инженерно-технического комплекса объекта хозяйствования, которые предусматривают возможность сохранения материальной основы: зданий, сооружений, технологического оборудования, коммунально-энергетических сетей.*

**Ключевые слова:** объект хозяйствования, устойчивость работы, коммунально-энергетические сети, восстановление.

**Введение.** В настоящее время значительные человеческие потери, экологический и материальный ущерб наносятся чрезвычайными ситуациями военного, техногенного, экологического и природного характера. Над решением проблемы предупреждения и устранения возможных последствий чрезвычайных ситуаций работают ученые всех стран мира.

**Целью настоящей работы** является исследование возможных путей повышения устойчивости работы объектов хозяйствования для обеспечения безопасности в условиях чрезвычайных ситуаций.

**Изложение основных материалов.** Основными мероприятиями по повышению устойчивости работы объектов хозяйствования в мирное время являются:

- защита рабочих и служащих, инженерно-технического комплекса от последствий стихийных бедствий, аварий, катастроф;
- обеспечение надежности управления и материально-технического снабжения;
- светомаскировка объекта хозяйствования;
- подготовка объекта хозяйствования к восстановлению нарушенного производства и его перевод на режим работы в условиях чрезвычайной ситуации [1-4].

Надежная защита рабочих и служащих является одним из важнейших факторов повышения устойчивости работы любого объекта хозяйствования. С этой целью создаются защитные сооружения – укрытия для рабочей смены и членов их семей.

На участках с непрерывным производственным процессом строят индивидуальные укрытия с

созданием системы дистанционного управления технологическим процессом. Проводятся подготовительные мероприятия для рассредоточения и эвакуации в загородную зону производственного персонала и членов их семей. Обеспечивается накопление, хранение и поддержка в готовности средств индивидуальной защиты.

Важным элементом подготовки к защите объекта хозяйствования от последствий чрезвычайных ситуаций является обучение персонала умелому применению средств и способов защиты, действиям при ЧС, грамотному ведению аварийно-спасательных работ.

**Результаты исследований.** Защита инженерно-технического комплекса предусматривает сохранение материальной основы объекта хозяйствования: зданий, сооружений, технологического оборудования, коммунально-энергетических сетей.

От стабильности зданий и сооружений зависит устойчивость всего объекта. Повышение их устойчивости достигается созданием каркасов, рам, подкосов, контрфорсов, промежуточных опор для уменьшения пролета несущих конструкций.

Невысокие сооружения для повышения их прочности частично обсыпают грунтом (рис. 1) [4].

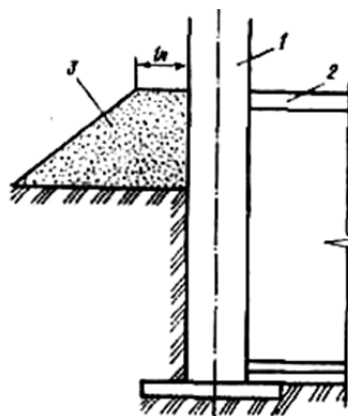


Рис. 1. Схема обсыпания грунтом помещений:  
1 – стена, 2 – перекрытие, 3 – обсыпка

Высокие сооружения (трубы, вышки, колоны) закрепляют растяжками, рассчитанными на влияние скоростного напора ударной волны (рис. 2) [4].

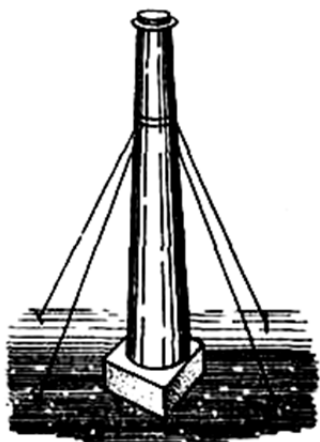


Рис. 2. Схема закрепления растяжками высоких сооружений

Защита емкостей с опасными химическими веществами и легковоспламеняющимися жидкостями осуществляется путем их обвалования – создание земляного вала вокруг емкости, рассчитанного на удержание полного объема жидкости (рис. 3) [4].

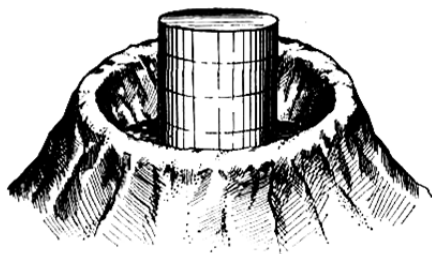


Рис. 3. Схема оборудования земляного вала вокруг емкости

Основные мероприятия по повышению устойчивости работы технологического оборудования, учитывая их повышенную прочность в сравнении со зданиями, в которых оно размещается, заключаются в сооружениях над ними специальных устройств в виде кожухов, навесов, зонтов, которые защищают его от повреждения обломками разрушенных строительных конструкций.

При недостаточной устойчивости самого оборудования к действию скоростного напора ударной волны необходимо провести его дополнительное закрепление на фундаменте анкерными болтами.

При реконструкции и расширении объекта хозяйствования наиболее ценное и уникальное оборудование необходимо размещать на нижних этажах и подвальных помещениях или в отдельностоящих зданиях павильонного типа,

имеющих облегченную и несгораемую конструкцию, разрушение которых не повлияет на целостность оборудования.

Повышение устойчивости систем электроснабжения обеспечивается проведением общих и объектовых инженерно-технических мероприятий.

Особое внимание следует уделить устойчивости систем снабжения газом.

На объекте хозяйствования должна быть создана устойчивая система водоснабжения. Снабжение водой должно обеспечиваться от двух источников – основного и резервного, один из которых должен быть подземным, например, артезианская скважина. Резервными источниками могут быть неподалеку расположенный водоем, резервуар с запасом воды, защищенный от радиоактивного, химического и биологического заражения. Сети водоснабжения оборудуются задвижками для отключения отдельных участков при авариях.

Устойчивость объекта хозяйствования также определяется надежностью систем паро- и теплоснабжения. Объект должен иметь два источника пара: внешний (ТЭЦ) и внутренний (местная котельня). Котельни необходимо размещать в подвальных помещениях или в отдельностоящих специально оборудованных защитных сооружениях.

Тепловая сеть закольцовывается, параллельные участки соединяются. Паропроводы прокладываются под землей в специальных траншеях. На паротепловых сетях устанавливаются запорно-регулирующие устройства.

Для повышения устойчивости канализации необходимо строить раздельные системы: одна – для ливневых, другая – для промышленных и хозяйственных (фекальных) вод. В системе промышленной и хозяйственной канализации необходимо оборудовать не менее двух выпусков в городские коллекторы. На случай аварии в городских сетях и на насосных станциях система канализации должна иметь аварийный сброс в расположенные неподалеку ручьи, яры или ливневую сеть.

Мероприятия по исключению или ограничению поражения от вторичных поражающих факторов дополнительно предусматривают максимальное уменьшение запасов взрывоопасных, горючих веществ и опасных химических веществ непосредственно на территории объекта, сверхнормативные запасы должны быть вывезены на безопасное расстояние.

Для целей дегазации на химических предприятиях необходимо создать запас различных дегазационных веществ (щелочей, водного раствора аммиака, сернистого натрия и др.).

В промышленных цехах необходимо оборудовать автоматическую сигнализацию, которая позволит предотвратить аварию, взрыв и загазованность территории. Предусмотреть строительство защитных

дамб от затопления территории. Подготовить и рационально разместить средства пожаротушения.

Для обеспечения непрерывного руководства на объекте хозяйствования необходимо иметь надежно защищенные пункты управления, диспетчерские пункты, автоматическую телефонную станцию и радиоузел, резервную электростанцию для зарядки аккумуляторов АТС и питания радиоузла, что обеспечит надежную связь с местными органами власти, начальником службы МЧС и его штабом, формированиями объекта и персоналом в загородной зоне. На объекте создается эффективная система оповещения всего персонала объекта.

Надежность материально-технического снабжения обеспечивается установлением устойчивых связей с предприятиями-поставщиками, заблаговременной подготовкой складов для хранения готовой продукции, переходом на местные источники сырья и топлива, возведением за пределами больших городов филиалов объекта хозяйствования, созданием запасов сырья, топлива, материалов и оборудования на территории объекта.

Светомаскировка объекта проводится с целью осложнения его нахождения авиацией в темное время суток. Она включает в себя мероприятия по снижению освещенности населенных пунктов и объекта, интенсивности сигнальных, транспортных и производственных огней, имитацию демаскирующих признаков на специально созданных отвлекающих объектах.

Подготовка объекта хозяйствования к восстановлению предусматривает разработку планов первоочередных работ по нескольким вариантам возможного повреждения, разрушения с применением сил самого объекта, имеющихся в наличии строительных материалов, возможности установки оборудования на открытых площадках, перераспределения рабочей силы, помещений и оборудования.

Для обеспечения сохранения технической документации целесообразно изготовить их копии в виде микрофильмов, один экземпляр хранить в загородной зоне.

Для своевременного и организованного проведения мероприятий по повышению устойчивости работы объекта хозяйствования разрабатывается план-график последовательности их выполнения.

**Выводы.** В связи с тяжелыми последствиями, вызываемыми ЧС мирного и военного времени, важное значение необходимо уделять устойчивости работы объектов хозяйствования. Студентам, будущим специалистам объектов хозяйствования необходимо знать организацию и порядок проведения исследования устойчивости работы объектов и на основе анализа результатов этого исследования разрабатывать и проводить мероприятия гражданской защиты по повышению устойчивости их работы в условиях ЧС.

## Л и т е р а т у р а

1. Кодекс гражданской защиты Луганской Народной Республики 103-II от 24 июня 2016 года.

2. Постановление Совета Министров Луганской Народной Республики Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий в Луганской Народной Республике от 22.04.2015 № 02-04/107/15.

3. Постановление Совета Министров Луганской Народной Республики Об утверждении Порядка функционирования системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, проведения мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций от 17.01.2017 № 16/17.

4. Касьянов М.А. Підвищення стійкості роботи промислових об'єктів у надзвичайних ситуаціях / М.А. Касьянов, В.П. Гуляєв, О.М. Друзь, І.М. Арнаут, В.І. Сало, В.О. Медяник. Навчальний посібник. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2012. – 156 с.

**Druz O.N., Zhytnaya S.V.**

## INCREASE OF STABILITY OF WORK OF OBJECTS OF MANAGING

*In given article recommendations about increase of stability of work of objects of managing are resulted. Considered bases of protection of a technical complex of object of managing which provide possibility of preservation of a material basis, buildings, constructions, the process equipment, municipal-power networks. Possible ways of increase of stability of work of objects of managing for safety in the conditions of emergency situations are investigated. It is necessary for students, future experts of objects of managing to know the organization and an order of carrying out of research of stability of work of objects and on the basis of the analysis of results of this research to develop and carry out actions of civil protection for increase of stability of their work in the conditions of emergency situations.*

**Keywords:** object of managing, stability of work, municipal-power networks, restore.

**Друзь Олег Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры «Аварийно-спасательных работ» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.  
**E-mail:** druz238@gmail.com

**Druz Oleg Nikolaevich**, Candidate of technical sciences, associate Professor of the chair «Emergency salvage operations» SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Житная Светлана Валерьевна**, старший преподаватель кафедры «Охрана труда и БЖД» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.  
**E-mail:** zhytnaya@mail.ru

**Zhytnaya Svetlana Valerevna**, Senior Lecturer of the chair «Labor protection and life safety» SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент:** Будиков Леонид Яковлевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Аварийно-спасательных работ» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 15.05.2022

УДК 005.334:658

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ АНТИКРИЗИСНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЕРСОНАЛА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

Дынный И.В., Гришко Д.М., Хамутовская Ю.П.

## THEORETICAL ASPECTS OF ADMINISTRATION OF ANTI-CRISIS ACTIVITIES OF PERSONNEL AT ENTERPRISES OF THE LUHANSK PEOPLE'S REPUBLIC

Dynnik I.V., Grishko D.M., Khamutovskaya Y.P.

*В статье рассмотрены проблемы администрирования деятельности персонала в условиях кризиса. Несмотря на необходимость жесткой экономии в условиях кризиса, проблема администрирования деятельности персонала не потеряла своей актуальности, а трансформировалась. Если еще до недавнего времени на рынке труда наблюдался дефицит квалифицированных кадров, что определяло кадровую стратегию предприятия, условия подбора и мотивации персонала, то сегодня ситуация на рынке труда кардинально изменилась в пользу работодателя.*

**Ключевые слова:** антикризисная деятельность, персонал, предприятие, ресурсы, финансы, управление, кризисная ситуация, гармонизация.

**Состояние проблемы.** В условиях глобализации мировой экономики рабочая сила становится одним из самых дефицитных ресурсов, а повышение ее качества - важнейшим фактором конкурентоспособности национальных экономик. Уменьшение запросов рынка на объемы работ и услуг побуждает бизнес к поиску снижения затрат, в том числе и путем сокращения численности персонала.

Несмотря на необходимость жесткой экономии в условиях кризиса, проблема администрирования деятельности персонала не потеряла своей актуальности, а трансформировалась: администрирование деятельности персонала сегодня должно базироваться на использовании современных методов менеджмента, выбор которых зависит от степени влияния кризиса на функционирование предприятия.

Если еще до недавнего времени на рынке труда наблюдался дефицит квалифицированных кадров, что определяло кадровую стратегию предприятия, условия подбора и мотивации персонала, то сегодня ситуация на рынке труда кардинально изменилась в пользу работодателя продавцов и технологов. А коллектив нуждается в формировании нового стиля управления персоналом предприятия, ориентированного на лидера.

Изложение основного материала. Известная модель управления кризисом (изображена на рис. 1.) - ППРР предусматривает реализацию четырех этапов: предотвращение (предупреждение); подготовка; реакция (ответ); рост (возвращение к исходному состоянию) - восстановление (подъем).



Рис. 1. Модель управления кризисом

Достоянием предприятия на выходе из кризиса являются новые знания, которые позволяют ему лучше подготовиться к изменениям. В нашей республике типичной ошибкой в управлении является недооценка необходимости следующих факторов:

- формировании системы администрирования деятельности персонала;
- разработки корпоративных принципов работы с персоналом;
- формализации бизнес-процессов;
- эффективной работы с кадровой документацией.

Ошибки и недостатки, которые накапливались в относительно стабильные периоды, в ситуации кризиса становятся опасными. Это определяет необходимость формирования целенаправленной

стратегии управления персоналом предприятия в условиях кризисной ситуации. Так как его эффективность влияет на эффективность деятельности всего предприятия в целом. Важнейшими задачами кадровой службы предприятия в условиях кризиса являются следующие:

диагностика кадрового потенциала предприятия;

участие в разработке стратегии реорганизации бизнеса;

разработка кадровых программ, поддерживающих новую корпоративную стратегию;

повышение производительности труда;

сокращение численности персонала;

разрешение конфликтов.

При этом основное внимание следует уделять системному подходу, строгому контролю эффективности и оптимизации (минимум затрат и максимум результативности) всех расходов.

Первым шагом в преодолении кризиса является определение проблемы. Определив влияние сложностей, связанных с кризисом, необходимо переосмыслить свои цели и задачи. Таким образом, основными задачами этого этапа администрирования антикризисной деятельности предприятия являются следующие:

освоение новых управленческих технологий, которые позволят сделать бизнес-процессы более прозрачными и менее затратными;

качественное обновление состава персонала предприятия.

Главная цель администрирования антикризисной деятельности персонала заключается в восстановлении возможности эффективного управления предприятием (способности оперативно принимать и реализовывать управленческие решения, эффективно решать возникающие проблемы).

При этом используются директивно-отчетные методы управления, которые позволяют осуществлять поддержку корпоративной культуры.

Одной из важнейших задач администрирования антикризисной деятельности персонала на предприятии в условиях кризиса является снижение расходов, в том числе и на персонал.

При этом необходимо взвешенно и рационально подходить к отбору кандидатов на увольнение, обсуждению уменьшения размеров и порядка выплат, доплат и надбавок, сокращения дополнительных льгот (бесплатные обеды, медицинское обслуживание и тому подобное). Однако не следует недооценивать значимость персонала для выживания предприятия в условиях кризиса. Если работники будут думать не об исполнении служебных обязанностей, а о поиске нового места работы, эффективность их работы и мотивация существенно уменьшатся.

Причиной проблем в таком случае станут не объективные экономические сложности, а неудовлетворительная управленческая политика.

Сейчас практически все предприятия, функционирующие на территории Луганской Народной Республики, пересматривают численность персонала: выявляют работников, а также пытаются перераспределить имеющийся функционал среди других сотрудников, алгоритмы увольнения персонала, которые базируются на объективном оценивании деятельности работников и тщательном анализе всех возможных рисков для предприятия.

Следует отметить, что кризис не только разрушает, но и создает новые возможности. Действуя активно в сложные времена, менеджер по персоналу получает возможность выйти из повседневности и действительно стать стратегическим партнером руководителя предприятия.

Признанным инструментом, который побуждает персонал вести себя в соответствии с целями и задачами антикризисной стратегии предприятия, является мотивация персонала. Большое количество ученых делают акцент на ведущей роли мотивации в процессе управления поведением человека на предприятии. Д. Богиня, утверждает, что новая стратегия управления персоналом на предприятии должна обеспечивать создание механизма эффективной трудовой мотивации.

Повышение уровня мотивации работников к совершенствованию эффективности производства является главной целью на современном этапе развития отечественного промышленного комплекса республики. В последние годы поиск новых подходов к управлению персоналом, интенсивное развитие экономической социологии и психологии обусловили внесение проблем мотивации в круг объектов, изучаемых экономистами.

Сейчас это одна из важнейших, но нерешенных проблем управления. Исследования мотивации работников социологами свидетельствуют, что в мотивации как системе произошли негативные структурные изменения: высшие потребности отошли на второй план, а поведением большинства работников управляют более низкие потребности. Речь идет о том, что мотивация персонала сегодня сводится к выбору и сохранению места работы, а не к высокой активности и производительности труда при достаточном уровне заработной платы.

Следует отметить, что современные работодатели обычно не уделяют этой проблеме достаточного внимания. Они используют устаревшие методы мотивации, которые не соответствуют структуре потребностей современных работников, или вообще не считают нужным мотивировать персонал, учитывая высокий уровень безработицы и тенденции развития рынка труда.

Однако такой подход является деструктивным не только для высококвалифицированных и компетентных работников, но и для всего коллектива предприятия, который быстро деградирует, теряет гибкость и способность к развитию.

Поэтому проблемы мотивации работников, обусловленные сложностью и неоднозначностью человека, постоянным ростом ее потребностей, изменением ценностных ориентаций и одновременным увеличением требований предприятия к потенциалу, интеллектуальных и творческих возможностей персонала, требуют теоретических и практических исследований в этой области менеджмента.

В условиях рынка должна формироваться новая социальная политика в сфере труда, которая бы обеспечивала соответствующую социальную защиту работникам со стороны государства и предприятия; ответственное, заинтересованное отношение человека к труду через максимальное удовлетворение его потребностей и интересов; достижение согласия между правительством (государством), руководителями предприятий (предприятиями) и работниками по поводу удовлетворения их интересов и потребностей, что положительно скажется на состоянии мотивации.

Сейчас в области управления распространяется концепция гармонизации интересов государства, предприятия и работника, которая предусматривает необходимость благоприятного сочетания целей для наиболее эффективного удовлетворения потребностей каждого субъекта отношений.

Уровень мотивации зависит от уровня и качества жизни населения. То есть научные проблемы мотивации труда связаны с практическими проблемами социальной политики. Социальная политика предприятия как элемент мотивации работника предполагает необходимость благоприятного сочетания целей для наиболее эффективного удовлетворения потребностей каждого субъекта отношений.

Методологические основы разработки концепции гармонизации общества с целью обеспечения его устойчивого развития были заложены еще в начале XIX века О. Контом и Г. Спенсером. О. Конт доказал, что гармония в обществе - это гармония между целым и частями социальной системы, которая предполагает согласованное взаимодействие всех сторон жизни - политической, экономической, духовной, биологической и др. По мнению А. Конта социальной гармонии можно достичь с помощью науки основными направлениями бизнеса и подразделениями предприятия.

Главной целью администрирования антикризисной деятельности персонала на предприятии является сохранение коллектива специалистов и повышение кадрового потенциала предприятия в условиях кризиса.

Реализация администрирования антикризисной деятельности персонала предприятия должна быть направлена не только на преодоление негативных последствий кризиса, но и на выявление и использование новых возможностей, которые порождаются кризисом.

**Выводы.** Главной опорой антикризисной деятельности предприятия является персонал. Основная цель администрирования антикризисной деятельности персонала заключается в восстановлении возможности эффективного управления предприятием (способности оперативно принимать и реализовывать управленческие решения, эффективно решать возникающие проблемы).

Выживание и дальнейшее развитие предприятия в кризисной ситуации заключается в возможности своевременной мобилизации имеющихся ресурсов, в первую очередь человеческих. В этот период значимость администрирования деятельности персонала существенно возрастает, поскольку его эффективность влияет на эффективность деятельности предприятия.

Такая стратегия позволит сохранить лучших работников, лучшие управленческие команды. Она является залогом дальнейшего развития предприятия, поскольку за спадом обязательно наступает подъем.

#### Л и т е р а т у р а

1. Мирчев М.К., Шереметов Г.В. Улучшение результативности труда менеджеров с целью повышения конкурентности организаций – Персонал, №11, 2005 – с.69-76.
2. Коротков Э. М. Исследование систем управления / Э. М. Коротков. – М: ООО "ИКП "ДеКа", 2003. – 336 с.
3. Маслов Е. В. Управление персоналом предприятия: [учеб. пособие] / Е.В. Маслов; [под ред. П.В. Шеметова]. — М.: ИНФРА-М: Новосибирск: НГАЭиУ. 1999. – 312 с.
4. Щербакова С. А. Пути повышения эффективности деятельности предприятия // Молодой ученый. – 2016. – №9.2. – С. 63-65.
5. Конт О. Курс положительной философии / О. Конт. – Вып. 6. Т. 1. – СПб., 1899.
6. Правильная оптимизация работы персонала [Электронный ресурс]: – Режим доступа <https://rdv-it.ru/news/pravilnaya-optimizatsiya-raboty/>
7. Управление персоналом предприятия: понятие, организация, система [Электронный ресурс]: – Режим доступа <https://sprintinvest.ru/upravlenie-personalom-predpriyatiya-ponyatie-organizaciyasistema>

**Dynnik I.V., Grishko D.M., Khamutovskaya Y.P.**  
**THEORETICAL ASPECTS OF ADMINISTRATION OF ANTI-CRISIS ACTIVITIES OF PERSONNEL AT ENTERPRISES OF THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC**

*The main pillar of the anti-crisis activity is the staff. The main purpose of the administration's anti-crisis activities of the staff is to restore the capacity for effective management of the enterprise (the ability to quickly adopt and implement*

*management decisions, to effectively solve problems). Survival and further development of the company in a crisis is a timely opportunity to mobilize the available resources, first of all human. During this period, the significance of personnel administration increases substantially, because of its efficiency affects the efficiency of the enterprise.*

**Keywords:** crisis management activities, personnel, plant, resources, finance, management, crisis situation, harmonization.

**Дынник Ирина Владимировна**, ассистент кафедры «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля».

**E-mail:** dunnik1989@mail.ru

**Dynnik Irina Vladimirovna**, Assistant of the Department "Technosphere Safety" of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Гришко Дмитрий Михайлович** ассистент кафедры «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля»

**Grishko Dmitry Mikhailovich** Assistant of the Department "Technosphere Safety" of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Хамутовская Юлия Петровна**, ассистент кафедры «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля».

**E-mail:** uylia\_rabota@mail.ru

**Khamutovskaya Yulia Petrovna**, Assistant of the Department "Technosphere Safety" of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич**, д.т.н., профессор кафедры «Аварийно-спасательных работ» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 504.054

## ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ

Кобылинская Е.Ю., Малкин В.Ю.

## ENVIRONMENTAL IMPACT OF HOUSEHOLD SOLID WASTE ON AND POSSIBLE SOLUTIONS

Kobylinkskaya E.Y., Malkin V.Y.

В статье рассмотрены проблемы сбора, хранения и переработки мусора. Приводится описание способов раздельного сбора мусора, его переработки, даются рекомендации по организации раздельного сбора твердых бытовых отходов (ТБО), описывается роль общественности в организации процесса.

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, свалки, мусор, окружающая среда, сортировка, переработка, повторное использование.

**Состояние проблемы.** Проблема образования отходов известна человечеству издавна. Однако состав отходов, их количество, а значит, и влияние на окружающую среду изменилось. С ростом населения планеты, увеличением промышленного производства, изобретением новых материалов остро встал вопрос о снижении количества мусора и его негативного воздействия на окружающую среду. Бытовые отходы, которым далеко не все придают значение, через окружающую среду также негативно влияют и на здоровье человека.

**Цель работы** – исследовать влияние твердых бытовых отходов на окружающую среду.

**Изложение основного материала.** Загрязнение окружающей среды твердыми бытовыми отходами является актуальной проблемой во всем мире. С каждым годом Земля все сильнее покрывается отходами, а большие площади отводятся под свалки. Отходы загрязняют почву, воду, воздух – и наносят непоправимый вред экосистеме. Именно поэтому в последнее время учёные всего мира ищут эффективные способы переработки мусора. В этом вопросе есть некоторые успехи, но идеальной формы утилизации отходов ещё не найдено.

По данным Росприроднадзора, российские свалки занимают 4 млн га [1]. Это равно площади Нидерландов или Швейцарии. Территория, занятая мусором, увеличивается на 400 тыс. га ежегодно. Если такие темпы сохранятся, то к 2050 году свалки займут 1% площади России.

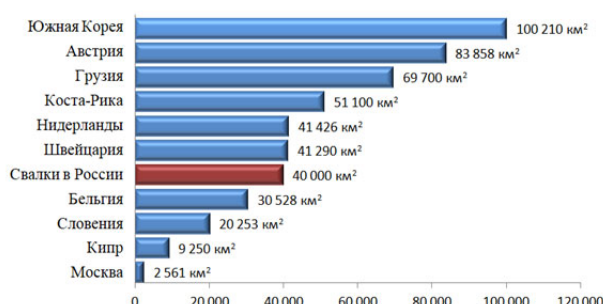


Рис. 1. Площадь свалок разных стран

В РФ принято делить отходы на классы, исходя из их влияния на экосистему. По влиянию на окружающую среду в РФ выделяют следующие группы опасности отходов:

- Чрезвычайно опасные – не разлагаются, экосистема после них не восстанавливается;
- Очень опасные – длительно разлагаются, экосистема восстанавливается более 30 лет после полного очищения от отходов;
- Опасные – экосистема восстановится через 10 лет после уничтожения источника;
- Малоопасные – на восстановление баланса в природе понадобится 3 года;
- Неопасные – экосистема не нарушена.

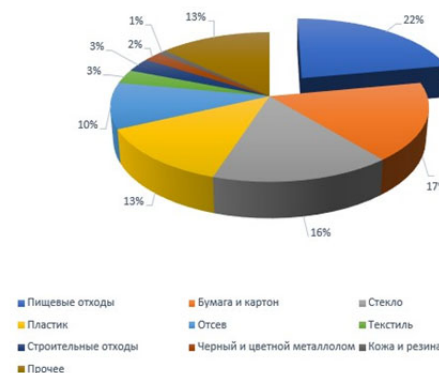


Рис. 2. Средний морфологический состав ТБО в России

Такая классификация возникла из тех соображений, что большую часть мусора в РФ не перерабатывают, а отвозят на свалки. Там мусор хранится годами и десятилетиями, что нарушает экологию.

В среднем Россиянин ежедневно производит 1,1 кг мусора. Большое количество этих отходов – пищевые [2]. Одним из способов решения этой проблемы является сокращение количества отходов, которые мы производим.

**Проблемы связанные с ТБО.** Большинство людей не задумывается над тем, какую опасность проблема мусора несет для человечества. Прежде всего, газы образующиеся на свалках, создают так называемый «парниковый» эффект. Это основная причина глобального потепления которая грозит вымиранием многим видам животных и затоплением значительных участков суши.

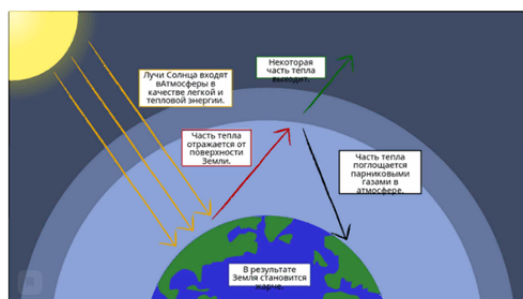


Рис. 3. Причины возникновения парникового эффекта

Мусорные свалки оказывают негативное влияние на животный мир. Ежегодно сотни животных в природе погибают от поедания отходов на свалках. Десятки из них получают раны, увечья от остатков стекла, лесок, консервных банок.

Глобальная проблема загрязнения мусором экологической системы отображается на здоровье людей. Отходы хранящиеся на полигонах, постепенно разлагаются под воздействием прямых солнечных лучей. В процессе такого разложения на свалках накапливается метан, углекислый газ, фильтрат. Токсичные соединения попадают в воздух, воду, почву. Они приводят к различным заболеваниям.

Особое значение проблема мусора имеет в РФ. Здесь большое количество несанкционированных свалок, которые иногда располагаются просто посреди жилых кварталов. К тому же, низкая культура потребления и уровень ответственности населения, наносят дополнительный вред окружающей среде. Свалки занимают большие площади. После них земля в этом месте становится непригодной для жизни.

**Пути решения.** Как было сказано в начале статьи, проблема с накоплением отходов известна уже давно. При этом особенность нынешних отходов заключается в их медленной скорости биохимического распада: пластмассы и металлы могут распадаться сотни лет.

К наиболее популярным в России способам утилизации отходов относят:

- естественное разложение в окружающей среде;
- захоронение на полигонах ТБО;
- сортировка и вторичная переработка.

Проблема естественного разложения, которая знакома по массовым несанкционированным свалкам, в том, что только пищевые отходы разлагаются в течении 30 дней. Остальным же компонентам ТБО необходимы месяцы, годы и века. Поэтому мусор накапливается, что влияет не только на эстетическую составляющую, но и приводит к загрязнению окружающей среды.

Наиболее распространенный способ обращения с отходами — это захоронение на полигонах. Полигон представляет собой специальное инженерное сооружение, которое минимизирует загрязнение окружающей среды. Высокотехнологичные полигоны используют свалочный газ для получения электроэнергии. К сожалению, от недостатка финансирования и прочих факторов нередко полигоны превращаются в санкционированные свалки. В таком случае наносится серьезный вред окружающей среде.

В мире нет ни одной страны, где проблема с накоплением отходов решена на 100%. Мусор производится, и это естественно. В то же время существуют методы по снижению количества мусора. К наиболее перспективным способам утилизации относятся сортировка, переработка мусора, повторное использование.

*Раздельный сбор мусора* официально внедрён во многих европейских странах [3]. Жители приучены выкидывать органические отходы в одно место, а пластик, стекло, батарейки и аккумуляторы отдельно, отвозя их в специальные пункты приёма.



Рис. 4. Раздельный сбор мусора

Для выстраивания эффективной системы обращения с отходами необходимо отдельно собирать:

- упаковку из алюминия, пластика, белой жести и многослойных материалов;
- бумагу, картон;
- стекло;
- органические остатки;
- спецотходы (опасные);
- одежду;
- бытовую технику;
- мебель;
- автомобильные шины;

- металлолом и т. д.

Сортировка ТБО в современных городах — важный шаг на пути к их эффективной переработке. Переработка отходов — наиболее эффективный метод решения проблемы мусора на данный момент. Все, что может быть переработано и использовано повторно — перерабатывается, остальное — утилизируется. Такой подход действует в большинстве развитых стран.

Переработка отходов не только полезна для окружающей среды, но и обеспечивает значительную экономическую выгоду для отдельного человека и экономики в целом. Переработка отходов является конечной, потому что она сокращает работу, необходимую для производства чего-либо, пригодного для потребления [4]. Конечно, не все можно переработать. Основные вещи, которые могут быть переработаны, — это пластик, бумага и стекло.

Вторичная переработка — решение проблемы накопления отходов и чрезмерного потребления. Из пластика или стекла можно сделать новую тару, резина используется в качестве покрытия для стадионов. Хорошо налажен процесс переработки макулатуры. Из неё делают новую бумагу и картон.

Также одним из важных решений проблемы загрязнения отходами — разумное потребление.



Рис. 5. Разумное потребление

В РФ не придают значения тратам на покупки. Чем больше покупается, тем больше отходов. Новые товары нужно приобретать на осознанной платформе. На этих принципах создается система разумного потребления, которая практикуется зарубежными странами. Покупая качественную вещь, человек тратит больше денег. Но такие предметы имеют долгий срок эксплуатации. Российское население, пользуясь дешевыми товарами, развивает источник количества мусора, усугубляя проблему переработки. Деятельность Роспотребнадзора заключается в учете и контроле над обращением с отходами. Работа ведется слабо, нет должностного надзора

**Выводы.** Накопленные тонны мусора оказывает вредное влияние на природу, нарушают экосистему, угрожают здоровью человечества. В России обращение с отходами налажено слабо. Системный экологический кризис, сложившийся в РФ в сфере обращения с ТБО в конце 2010-х годов, вызвал сильную социальную напряженность, которая с каждым годом только нарастает. Россияне неоднократно выходили на акции протестов против загрязнения окружающей среды, пренебрежительного отношения к мусору со стороны коммунальщиков и т.д. В 2019 году в 30 крупнейших регионах РФ прошли масштабные «мусорные» протесты. Недовольство населения и

слабый подход к решению «мусорной» проблемы дают повод полагать, что если не будет предпринято каких-то кардинальных изменений в вопросе решения проблем с ТБО, то эти акции будут проходить чаще, а проблемы с окружающей средой в РФ будут лишь ухудшаться.

### Л и т е р а т у р а

1. Антонов С.И. Сколько мусора производят россияне // Тинькофф журнал. 2019 [Электронный ресурс]: URL: <https://journal.tinkoff.ru/garbage/>
2. Ильиных Г. В. Использование результатов определения морфологического состава твердых бытовых отходов для обоснования системы обращения с отходами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ). Урбанистика. – 2012. – № 1.
3. Бабанин И. Раздельный сбор ТБО в России - миссия выполнима // Коммунальщик. - 2007. - N 10
4. Бельдеева Л.Н., Лазуткина Ю.С., Комарова Л.Ф. Экологически безопасное обращение с отходами. - Барнаул: Азбука, 2006.

**Kobylynskaya E.Y., Malkin V.Y.**

### ENVIRONMENTAL IMPACT OF HOUSEHOLD SOLID WASTE ON AND POSSIBLE SOLUTIONS

*The article discusses the problems of garbage collection, storage and recycling. The methods of separate collection of garbage and its processing are described, recommendations are given on the organization of separate collection of solid household waste (MSW), the role of the public in the organization of the process is described.*

**Keywords:** solid household waste, landfills, garbage, environment, sorting, recycling, reuse.

**Кобылинская Екатерина Юрьевна**, ассистент кафедры «Аварийно-спасательных работ» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».  
**E-mail:** kobylynskaya.katya@mail.ru

**Kobylynskaya Ekaterina Yuryevna**, Assistant of the Department of Emergency Rescue Operations of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Малкин Владимир Юрьевич**, к.ю.н., доцент, заведующий кафедрой «Пожарная безопасность», директор Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля».  
**E-mail:** malkvu@mail.ru

**Malkin Vladimir Yurevich**, candidate of Law, Associate Professor, Head of the Department "Fire Safety", Director of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент:** Будиков Леонид Яковлевич, д.т.н., профессор кафедры «Аварийно-спасательных работ» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

Статья подана 15.05.2022

УДК 331.45

**ТЕХНОСФЕРА – НАША ПРИРОДНАЯ СРЕДА****Кравцова О.А., Павленко А.Т.****TECHNOSPHERE – OUR NATURAL ENVIRONMENT****Kravtsova O.A., Pavlenko A.T.**

*Создавая техносферу, человек стремился к повышению комфортности сферы обитания. Воздействие человека на окружающую среду в целях удовлетворения своих потребностей может быть как положительным, так и отрицательным. Положительное воздействие человека на окружающую среду предполагает рациональное ведение хозяйственной деятельности, реализацию мероприятий по ресурсоэнергосбережению, снижению количества выбросов, восстановлению компонентов окружающей среды. Отрицательное антропогенное воздействие на окружающую среду характеризуется хищнической эксплуатацией природных ресурсов, их истощением и загрязнением.*

**Ключевые слова:** человек, экология, окружающая среда, природная среда, техносфера, воздействие, техника

Слово «экология» давно отошло от своего первоначального значения и является в широком общественном сознании синонимом термина «охрана окружающей среды». Только мы давно не живем в природной среде, потому что ее вокруг нас практически нет! Даже о защите этой среды мы узнаем из газет и электронных СМИ, которых нет в естественной среде. Почти половину времени бодрствования человек проводит при искусственном освещении; его тело часто покрыто тканями из необычных по своей природе материалов; человек стал почти пленником телефона, автомобиля, электросети, канализации и водоснабжения. И именно телефоны, автомобили и другие бесчисленные более и менее разумные машины составляют повседневную среду обитания для жителя более богатых регионов планеты Земля. Да и вообще, более бедные и первобытные регионы, казалось бы, незапятнанные клеймом цивилизации, тоже пользуются рациями и портативными телефонами. Эта среда, называемая техносферной уже стала настолько банальной, что у человека выработались привычки функционировать в ней на рефлекторном уровне. Это стало естественным, потому что для человека нет ничего более естественного, чем рефлекторное функционирование. Давайте попробуем переместить горожанина в дремучий лес! Его естественные рефлексы — тянуться к холодильнику, искать выключатель и т. д. — мало чем помогут, и прежде, чем он вспомнит атавистические привычки своих

предков, он может просто погибнуть в этой «естественной» окружающей обстановке.

Техносфера, как творение человека, очевидно, не лучше и не хуже своего создателя. Если этот творец боится мира, техносфера будет враждебна и тоже будет пугать вас серьезными неудачами. Мало того, эта техносфера быстро повторяет другие человеческие творения, например, «организованные религии». Не такова ли сегодняшняя техника, без своих жрецов - менеджеров, конструкторов и сервисников - совершенно непонятная? Все более важным становится вопрос о нашем отношении к окружающей среде. Ибо в то время, как природная среда, находящаяся в упадке и зависящая от человеческой милости или жестокости, имеет свои права, синтетическая техническая среда мощно подчеркивает все сознательные и бессознательные мысли, сопровождавшие создание техники. Говоря языком мифологических символов, он имеет природу Гермеса, говорящего о себе: я хороший с хорошим, плохой с плохим [3].

Человек «научной» эпохи, боязливый человек, который, по его собственному мнению, должен за все бороться, все вырывать из природы, он уж точно не мог создать иной техники, кроме той, которая служит агрессии и столь же непредсказуема, как силы природы. Давайте посмотрим, с каким удовлетворением и даже облегчением сообщают средства массовой информации о впечатляющих авариях самолетов, заводов и атомных электростанций! Как же мы недоверчивы к таким банальным вещам, как машина или компьютер! Сколько технологий выросло со «священниками», от которых зависит их эффективность и функциональность в нашей жизни! Пока менталитет человека не обменян, пока он носит все страхи пещерного человека под тонким слоем культуры - другой техники не будет.

Технологии вполне могут заменить природную среду. настолько, что многие люди предпочитают предсказуемую неопределенность технических устройств совершенно непредсказуемой неопределенности природных факторов: климата, урожая, стихийных бедствий и т. д. Это наблюдение настораживает, потому что следствием такого отношения к миру является стремление полностью

заменить экосферу техносферой, что может означать не только экологическую катастрофу; технологии сегодня далеко не так совершенны, как живые организмы, не говоря уже об экосистемах.

Однако техника может (и должна как можно скорее!) стать частью окружающей среды в целом, а не противопоставленной естественному и искусственному. Потому что, вопреки распространенному мнению, интересы техники и природы не так уж сильно противоречат друг другу. Никакая технология не использует силы, кроме естественных [2]. Не только это: каждый умный и чуткий инженер знает, что можно спроектировать и изготовить технику, не нарушающую природу. Примером может служить неоднозначное строительство автомагистралей: автомагистраль в виде пятидесятиметровой полосы бетона, прорезающей лес — это действительно катастрофа. Но также функциональна, трасса, проложенная на вбитых в землю сваях, оснащенная шумопоглощающими экранами, с каналами, отводящими смываемые дождем с ее поверхности яды в конкретные места, из которых эти яды регулярно убираются — это другое качество. Разница лишь в стоимости: «экологическая» магистраль в разы дороже «обычной» и ее строительство должно сопровождаться желанием потратить больше денег. Такая экологическая магистраль, хотя и возможна технологически, с сегодняшней точки зрения, была бы неэкономична. И самым большим препятствием сегодня для победоносного шествия экотехнологий являются не строго технические проблемы, а господствующий сегодня менталитет, в котором все же больше варваров-завоевателей, чем чутких инженеров. Технологии могут быть экологичными по своему замыслу. Проиллюстрируем это на примере:

Несомненно, неэкологично отравлять окружающую среду выхлопами автомобильных двигателей. Автомобили (особенно в городе) чаще всего возят людей в офисы и на заводы [1]. Для этого нужна крайне антиэкологическая структура, состоящая из сети дорог, автомобилей, кормящей их нефтяной промышленностью и всех технических и правовых устройств, организующих дорожное движение. Обратите внимание, однако, что в настоящее время большая часть офисной работы может быть автоматизирована с помощью компьютера, и что офис с несколькими десятками сотрудников, работающих на компьютерах, может быть рассредоточен - компьютеры, расположенные в домах сотрудников, объединены в сеть. Функционально такой кабинет не менее эффективен, чем традиционный. Экономическая стоимость такого решения намного ниже, чем строительство дороги, производство автомобилей и управление их движением. Поэтому компьютерная сеть здесь — проэкологическое решение, а централизованный офис, требующий транспорта сотрудников, — антиэкологическое.

Дополнительным преимуществом здесь является тот факт, что сотрудники работают по месту жительства и не тратят долгие часы на поездки.

Другой пример, часто обсуждаемый, но все же заслуживающий напоминания: суммарный КПД системы, состоящей из электростанции, сети электропередач и трамвая или троллейбуса, составляет около 60%, а загрязнения, образующиеся в такой системе, относительно легко нейтрализовать (это возникает только в одном месте - на электростанции; так называемый электромагнитный смог, излучаемый передающими сетями, не является важнейшим компонентом электромагнитного загрязнения). Эффективность системы, состоящей из АЗС и множества автомобилей, составляет в лучшем случае 30%, а загрязнение сложно уловить и нейтрализовать, так как оно зависит от технического состояния большого количества автомобилей. Так что если общественный транспорт в городах действительно был эффективен и легковой автомобиль перестал выполнять роль определителя материального положения его владельца, то чисто технических препятствий для экологической коммуникации нет.

Как видно, техника может быть как проэкологической, так и антиэкологической, в зависимости от качества мышления людей, создающих и обслуживающих технику.

Техносфера, как никакая другая среда обитания человека, поддается формированию и, даже при сегодняшнем уровне техники, послушна воле. Чего не хватает для того, чтобы быть по-настоящему дружелюбной средой как для людей, так и для природы, так это на самом деле только человеческого состояния ума.

Отсюда и провалы зачастую гениальных идей строительства экологических микрорайонов и даже городов - возможности есть, нет намерения и даже осознания их использования.

По-настоящему современный подход к цивилизации, не избегающий использования науки и техники, но в то же время и не деструктивный - еще довольно далек. Карьеру сделала только идея, эвфемистически называемая «отмелой экологией», или грубо «экологией страха», которая требует сохранения и защиты природной среды сегодня, опасаясь, что завтра защищать и спасать будет нечего.

Благодаря этой идее у нас есть эффективные проэкологические лобби во многих сообществах, у нас есть качественные проэкологические технологии, но это также имеет мало общего с посылом экологической идеи.

Этим несомненным достижениям еще предстоит расцвести. На то время, когда терпимая к природе и дружелюбная к человеку техносфера станет не только неприятной необходимостью или сезонной модой, но и нашей природной средой. Настолько естественно, что мы даже не замечаем этого каждый день.

**Выводы.** Следует решить задачу по охране природы, совершенствовать техносферу, тем самым снижая ее негативное влияние хотя бы до допустимых уровней и обеспечивая себе безопасное существование. Человеческая деятельность, направленная на формирование и трансформацию потоков вещества, энергии и информации в жизненном пространстве, лежит в основе возникновения опасностей техносферы. Изучая и изменяя эти потоки, можно ограничить их величину допустимыми значениями.

#### Литература

1. Курушин, В. Д. Дизайн техносферы. Очерки эволюции / В.Д. Курушин. - М.: ДМК Пресс, 2017. - 236 с
2. Григорьев, А. В. Антропология. От организмов к техносфере / А.В. Григорьев. - М.: Либроком, 2017. - 480 с.
3. <http://eko.org.pl/kropla/20/teksfera.htm>

**Kravtsova O.A., Pavlenko A.T.**

#### TECHNOSPHERE - OUR NATURAL ENVIRONMENT

*By creating the technosphere, man sought to increase the comfort of the sphere of habitation. Human impact on the environment in order to meet their needs can be both positive and negative. The positive human impact on the environment implies rational management of economic activities, the implementation of measures for resource and energy conservation, reduction of emissions, restoration of environmental components. Negative anthropogenic impact on the environment is characterized by predatory exploitation of natural resources, their depletion and pollution.*

**Keywords:** *man, ecology, environment, natural environment, technosphere, impact, technology*

**Кравцова Ольга Александровна**, старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля».

**E-mail:** [olgakravcova127@mail.ru](mailto:olgakravcova127@mail.ru)

**Kravtsova Olga Aleksandrovna**, Senior Lecturer of the Technosphere Safety Department of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Павленко Александр Тимофеевич**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** [852424@i.ua](mailto:852424@i.ua)

**Pavlenko Alexander Timofeevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Technosphere Safety" of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Аварийно-спасательных работ» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 504.3.054

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА НА ТЕРРИТОРИИ ЛНР

Максюк И.К.

### MODERN PROBLEMS OF AIR POLLUTION IN THE TERRITORY OF THE LPR

Maksyuk I.K.

*Описываются вопросы состояния атмосферного воздуха в Луганской Народной Республике. Определяются основные источники загрязнения воздуха. Выявляются районы, которые внесли наибольший вклад в загрязнение атмосферы. Дается развернутая информация о влиянии предприятий на состояние воздушного бассейна. Предлагаются варианты решения для предотвращения дальнейшего загрязнения и уменьшение уровня загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах ЛНР.*

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферы, источники, уровень, районы, горнодобывающая промышленность, автотранспорт, энергетика.

**Введение.** От состояния окружающей среды напрямую зависит здоровье людей, качество сельскохозяйственной продукции и питьевой воды. Особое значение имеет в этом разрезе качество атмосферного воздуха. В Луганской Народной Республике основными источниками загрязнения воздушного бассейна в 2021 году являются промышленные предприятия, деятельности предприятий коммунальной сферы, а также функционирования мобильных источников выбросов. Наибольшими темпами в последние годы, в том числе в 2021 году, наблюдался рост производства в металлургической и угольной отраслях промышленности. [1]

**Изложение основного материала.** В целом по республике, по данным Госкомстата ЛНР, объемы выбросов загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками за 2021 год в сравнении с предыдущим 2020 годом увеличились на 7,2 %. В 2021 году основной вклад в загрязнение воздушного бассейна внесли стационарные источники выбросов – 70,3%, а передвижных (главным образом автотранспорта) – 28,6 %.

Однако в 2021 году выбросы в атмосферу стационарными источниками в сравнении с 2020 годом увеличились на 5,2 % (без учета диоксида углерода –  $\text{CO}_2$ ). В связи с уменьшением производства и сокращением количества автомобильного транспорта выбросы в атмосферу по сравнению с 2013 годом в 2021 году сократились в ЛНР более чем в 3 раза. Кроме того, за 2021 год в атмосферный воздух поступило углекислого газа,

являющегося парниковым газом, на 89,9 % больше чем в 2020 году и почти вдвое меньше соответствующего показателя 2013 года. Наибольшее количество выбросов углекислого газа приходится на г. Алчевск – 97,6 % всех выбросов углекислого газа по республике. [5]

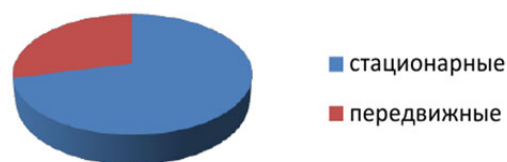


Рис. 1 Источники выбросов в атмосферу ЛНР 2021 году

В разрезе административно-территориальных единиц Луганской Народной Республики среди городов и районов в 2021 году наибольший вклад в общее количество выбросов в атмосферу внесли предприятия г. Краснодона и Краснодонского района — 41,6 % от всех выбросов по республике, г. Алчевска — 42,8 %, Перевальского района — 5,3%, г. Свердловска и Свердловского р-на — 3,7 %, Лутугинского района — 2,4%, г. Луганска и отдельных территорий Станично-Луганского района — 3,3 %.

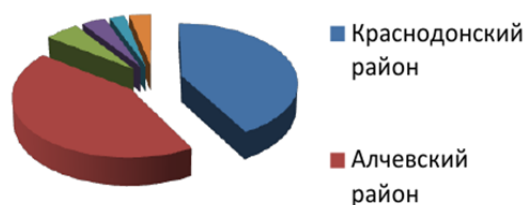


Рис. 2. Вклад выбросов в атмосферу по районам ЛНР

Производство. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха республики в прошлом году являлись: Филиал № 12 ЗАО «Внешторгсервис»; Филиал № 2 ЗАО «Внешторгсервис».

Предприятия черной металлургии оказывают крайне негативное воздействие на состояние

атмосферного воздуха таких крупных городов и промышленных центров, как Алчевск, Луганск.

Основными источниками образования и выбросов в атмосферу загрязняющих веществ являются следующие технологические процессы: подготовка сырья (обогащение, агломерация), производство кокса, доменное производство, производство стали, производство проката. [2]

Доля неорганизованных выбросов в общем объеме выбросов предприятия достигает 10—26%.

Для аглофабрики производительностью  $(10—11)10^3$  т/сут количество агломерационных газов, выбрасываемых в атмосферу, составляет  $-1,83 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup>/ч, их запыленность 8—10 г/м<sup>3</sup>, содержание CO<sub>2</sub> — 4,2%, CO — 0,6 — 0,9%, SO<sub>2</sub> — 0,05%.

В доменном производстве имеют место выбросы в атмосферу продуктов сгорания из доменной печи (колошниковых газов) в процессах загрузки шихты, выпуска чугуна, охлаждения шлака.

Колошниковый газ содержит: пыль — до 30 г/м<sup>3</sup>; CO — 23—40%; CO<sub>2</sub> — 15-22%; H<sub>2</sub> - 1,5-6%; следы SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S.

В общем балансе пылегазовых выбросов сталеплавильных агрегатов на долю мартеновского производства стали приходится 75% пыли, 85% оксидов азота, 90% диоксида серы. Запыленность дымовых газов составляет 0,5—2 г/м<sup>3</sup>.

Применение кислорода для интенсификации процесса в печи повышает запыленность отходящих газов до 10—15 г/м<sup>3</sup>. Пыль на 85—88% состоит из оксидов железа, являющихся частично продуктами возгонки металла в реакционной зоне ванны, а частично — продуктами механического уноса дымовыми газами капель расплава.

Количество частиц < 1 мкм достигает 70—85%. Из вредных примесей газы содержат: CO — до 1%, образующегося в результате неполного окисления углерода, содержащегося в чугуне; SO<sub>2</sub> — окисление серы, содержащейся в чугуне; NO<sub>x</sub> — окисление при высоких температурах N<sub>2</sub>, содержащегося в воздухе.

В прокатном производстве выделение загрязняющих веществ в атмосферу, по сравнению с другими цехами заводов черной металлургии, значительно меньше. Основными источниками образования выбросов являются прокатные станы, машины огневой зачистки, травильные отделения.

Транспорт. Выбросы передвижных источников в 2021 году, главным образом автотранспорта, выросли на 19,7 % по сравнению с показателем 2020 года. Основным фактором увеличения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от транспортных средств является увеличение потребления моторного топлива: бензина — свыше 25 %; дизельного топлива — свыше 5 %; пропана, бутана — на 8 %.

Угольная промышленность. Добыча минерального сырья осуществляется в шахтах или открытых разработках. Источниками загрязнения

атмосферы являются терриконы, отвалы, открытые разрезы, участки погрузки, разгрузки и транспортировки сыпучих материалов. Выбросы в атмосферу происходят в результате поверхностного пыления. Тлеющие угольные отвалы и терриконы выделяют в атмосферу газы, содержащие CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>. При проведении взрывных работ образуется пылегазовое облако, содержащее пыль измельченной породы, CO, NO<sub>2</sub>. [4]

Расчет выбросов загрязняющих веществ предприятиями угольной промышленности осуществляется следующим образом.

Количество газов, выделяющихся из действующих тлеющих терриконов и отвалов:

$$П = 0,001тНД, \text{ т/сут.}, \quad (1)$$

где  $t$  — коэффициент, зависящий от качества угля;  $H$  — высота отвала, м;  $D$  — количество породы, подаваемой в отвал, т/сут.

Количество пыли из действующих терриконов и отвалов, т/сут:

$$П = 0,001кНД, \quad (2)$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от высоты отсыпки и количества породы;  $k \approx 0,01$ .

Пыль с ленточного конвейера (кг/с с 1 пог. м):

$$П_2 = \omega_c L \gamma, \quad (3)$$

где  $\omega_c$  — удельная сдуваемость пыли,  $\omega_c \approx 3 \cdot 10^{-5}$  кг/м<sup>2</sup>·с;

$L$  — ширина конвейерной ленты, м;

$\gamma$  — коэффициент измельчения горной массы.

Над местом взрыва образуется пылегазовое облако, характеризующееся объемом, высотой подъема, температурой, концентрацией загрязняющего вещества.

Объем пылегазового облака, м<sup>3</sup>:

$$V_0 = 44\,000A^{1,08}, \quad (4)$$

где  $A$  — количество взорванного взрывчатого вещества, т.

Высота подъема пылегазового облака, м:  $H_0 = e(164 + 0,258A)$ , где  $e$  — безразмерный коэффициент, зависящий от глубины скважины.

Горнодобывающая промышленность, по-прежнему, занимает лидирующее место по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух в республике, ее доля в общих объемах выбросов всех предприятий около 58 %. Основными источниками выбросов угольных предприятий в атмосферу являются горящие и не горящие породные отвалы, вентиляционные системы шахт, котельные предприятий, узлы погрузки-разгрузки угольной продукции и породы, штабели угля.

В настоящее время осуществляется реорганизация угледобывающей отрасли, в

результате которой создано Государственное унитарное предприятие Луганской Народной Республики «Республиканская топливная компания «ВОСТОКУГОЛЬ». Ликвидируются убыточные угледобывающие предприятия. Конечно, при этом на первый план выходит решение сложных вопросов социально-экономического благополучия жителей.

В результате реорганизации отрасли увеличится экономическая эффективность предприятий, оптимизируются механизмы управления отраслью и ресурсами. Вместе с ликвидацией ряда шахт, как следствие, сократится количество источников выбросов в атмосферу, объемов выбросов в атмосферный воздух за счет сокращения значительной части погрузочно-разгрузочных работ, складирования и транспортировки угольной продукции и породы, вентиляции горных выработок (особенно метанообильных), закрытия вспомогательных производств и участков, теплоснабжавших данные предприятия.

При этом остаются проблемы, связанные с тушением горящих породных отвалов, рекультивацией и озеленением терриконов.

В республике принят Закон Луганской Народной Республики от 21.04.2020 № 160-III «О ликвидации убыточных предприятий по добыче (переработке) угля и социальной защите их работников» в котором статьей 7 предусматривается при физической ликвидации горного предприятия осуществление природоохранных мер, направленных на предотвращение взрывов и выбросов газа, гашение и озеленение отвалов, проведение рекультивационных работ. В результате получения природоохранных разрешений вновь созданными угледобывающими предприятиями, Минприроды ЛНР будет рассмотрена необходимость проведения природоохранных мероприятий на промышленных объектах, после чего сформирован перечень соответствующих природоохранных мероприятий, для разработки в дальнейшем целевых государственных программ в природоохранной сфере. [3]

В связи с угрозой распространения новой вирусной инфекции, во II квартале 2020 года с 01.04.2020 до особого распоряжения было приостановлено проведение проверок юридических лиц и физических лиц – предпринимателей управлением государственного экологического надзора и отделами экологического контроля территориальных органов Минприроды ЛНР, согласно п. 5.1.1 протокола заседания чрезвычайной санитарно — противозидемической комиссии при Правительстве ЛНР от 31.03.2020 № 6/2020 и приказу Минприроды ЛНР от 01.04.2020 № 92 «Об организации проведения проверок соблюдения требований природоохранного законодательства». С середины июня Минприроды ЛНР возобновлено проведение контрольно-проверочных мероприятий,

приостановленное в связи с угрозой распространения коронавирусной инфекции.

**Результаты исследований.** Предотвращение дальнейшего загрязнения и уменьшение уровня загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах Луганской Народной Республики является одной из основных задач экологической безопасности. Для ее решения требуется:

- совершенствование законодательства в сфере охраны атмосферного воздуха;
- наличие аппаратов для очистки атмосферного воздуха на производстве и проверка их технического состояния;
- в случае отсутствия или нарушения в работе аппаратов очистки необходимо заменить их на более новые, совершенное оборудование;
- регулярно производить контроль на соответствие выбросов ПДК на предприятиях
- внедрение инновационных и экологически чистых технологий;
- развитие экологически безопасных производств;
- закрытие устаревших потенциально опасных производств;
- внедрение наилучших доступных технологий, направленных на сокращение объема (массы) выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и другие меры.

Выбор приоритетов в данном направлении определен:

Концепцией государственной политики в сфере экологической безопасности и рационального природопользования Луганской Народной Республики на период до 2023 года, утвержденной Указом Главы Луганской Народной Республики от 16 апреля 2019 года № УГ-246/19.

Планом мероприятий по реализации Концепции государственной политики в сфере экологической безопасности и рационального природопользования Луганской Народной Республики на период до 2023 года, утвержденным распоряжением Главы Луганской Народной Республики от 31 октября 2019 года № 757-рг/19.

Одним из путей улучшения экологической ситуации является совершенствование законодательства в сфере охраны атмосферного воздуха в направлении рецепции российского законодательства: ужесточение требований к природоохранной деятельности крупных предприятий, оказывающих значительное негативное влияние на окружающую среду и освобождение от необходимости получения разрешительных документов природоохранного характера остальными предприятиями.

Большую роль в решении экологических проблем играет:

- поэтапное проведение модернизации предприятий угольной, металлургической промышленности, применение ресурсо- и

энергосберегающих технологий, современных методов контроля выбросов в атмосферный воздух, в первую очередь метана, в том числе с целью повышения и обеспечения безопасности работы угледобывающих предприятий;

- ужесточение санитарных требований к размещению новых промышленных объектов в границах населенных пунктов и в районах жилой застройки;

- совершенствование транспортной инфраструктуры;

- регулярный контроль Минприроды ЛНР выполнения условий специальных разрешений, этапов реализации мероприятий в сфере охраны атмосферного воздуха.

**Выводы.** Все вышеперечисленные направления работы Минприроды ЛНР, совместно с другими исполнительными органами государственной власти республики, с участием общественности позволят минимизировать негативные воздействия хозяйственной деятельности, в том числе промышленного производства на состояние окружающей среды в республике.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ветошкин А. Г. Инженерная защита окружающей среды от вредных выбросов: учебное пособие. — Москва: Инфра-Инженерия, 2017. — 414 с.

2. Дмитренко В. П. Экологический мониторинг техносферы: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Техносферная безопасность" / В. П. Дмитренко, Е. В. Сотникова, А. В. Черняев. — Изд. 2-е, исправленное. — Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2014. — 363 с.

3. Марцуль В. Н. Защита атмосферы от промышленных выбросов: учебно-методическое пособие. — Минск: БГТУ, 2016. — 258 с.

4. Садковская Н. Е. Особенности выбросов загрязняющих веществ от промышленного производства в городах // Наукоемкие технологии. — 2013. — Т. 14, № 2. — С. 34–35.

5. Тарасов Л. В. Атмосфера нашей планеты: учебное пособие для средней школы — М.: Интерпериодика, 2012. — 418 с.

**Maksyuk I.K.**

#### MODERN PROBLEMS OF AIR POLLUTION IN THE TERRITORY OF THE LPR

*The issues of the state of atmospheric air in the Lugansk People's Republic are described. The main sources of air pollution are identified. Areas that have made the greatest contribution to air pollution are identified. Detailed information is given on the impact of enterprises on the state of the air basin. Solutions are proposed to prevent further pollution and reduce the level of air pollution in the settlements of the LPR.*

**Key words:** air pollution, sources, level, regions, mining industry, transport, energy.

**Максюк Инна Константиновна**, к.т.н., доцент, доцент кафедры техносферной безопасности института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля». **E-mail:** rabotagz388@gmail.com

**Maksyuk Inna Konstantinovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Гусенцова Яна Алимовна**, д.т.н., профессор, профессор кафедры пожарной безопасности института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 628.477.8

## ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ ОЦЕНКА ОБЪЁМА БИОГАЗА, ВЫДЕЛЯЕМОГО НА ПОЛИГОНАХ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Малкин В.Ю., Павленко А.Т., Кравцова О.А.

### AN APPROXIMATE ESTIMATE LANDFILL GAS ALLOCATED TO SOLID WASTE LANDFILL

Malkin V.Y., Pavlenko A.T., Kravtsova O.A.

*Приведён анализ состава твердых бытовых отходов на городских полигонах и свалках, а также образование биогаза, макрокомпонентами которого являются метан ( $\text{CH}_4$ ) и двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ). Сделаны выводы относительно использования биогаза для производства энергии. Обоснована и предложена схема ориентировочной оценки объёма биогаза, выделяемого на полигонах твердых бытовых отходов.*

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, полигоны, органические отходы, органическое вещество, химические элементы, биогаз, свалочный газ.

**Состояние проблемы.** Для обеспечения выполнения Киотского протокола в Мире необходимо уменьшить образования или увеличить утилизацию парниковых газов. Одним из источников парниковых газов являются полигоны и свалки твердых бытовых отходов (ТБО). В результате хранения ТБО образуется биогаз, макрокомпонентами которого являются метан ( $\text{CH}_4$ ) и двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ). «Вклад» полигонов ТБО ЛНР за год в общие выбросы метана и двуокиси углерода составляет от 3,5 до 4%.

**Цель работы** – определение схемы ориентировочной оценки объёма биогаза, который выделяется на полигонах ТБО.

**Изложение основного материала.** В процессе жизни и деятельности человека образуются ТБО. Основным способом уничтожения таких отходов в ЛНР на данный момент является их захоронение на полигонах и свалках.

Эмиссии свалочного газа (СГ) в природной среде формируют негативные парниковые эффекты. Так, вклад сектора «отходы» за год в общие выбросы составляет от 3,4 до 4% [4]. Наибольший негативный эффект вызывает метан, так как метан — это газ, парниковый эффект от которого в 21-23 раза выше, чем от двуокиси углерода. Само наличие метана является причиной частых возпламенений на полигонах, которые приводят к выбросу большого количества токсичных веществ. Но полигоны ТБО являются также источником газа, который в развитых странах используется для производства тепловой и электроэнергии. В Финляндии, Швеции и Австрии, которые поощряют использование

энергии биомассы на государственном уровне, часть энергии биомассы достигает 15-20% от всей потребляемой энергии [1].

Луганская Народная Республика владеет значительными ресурсами свалочного газа от органических отходов, поскольку на её территории существуют десятки свалок ТБО, и проблема загрязнения метаном от свалок является одной из критичных экологических проблем.

Есть несколько способов переработки СГ на энергию, основой которых является сбор СГ с помощью вертикальных скважин [2]. Создание и монтаж оборудования для сбора и использования биогаза требует значительных затрат. Поэтому для принятия решения о строительстве систем добычи и использования СГ на конкретном полигоне ТБО необходимо оценить объёмы и состав биогаза на данном полигоне.

Интенсивность образования биогаза на полигоне ТБО зависит от состава отходов, их массы, порядка складирования, плотности отходов на квадратный километр, доступ кислорода и воды к отходам полигона, температуры воздуха и грунта. Исходя из этого необходимо в первую очередь оценить состав ТБО на полигоне. Как правило, основу ТБО ЛНР составляет органические вещества (бумага, пищевые отходы, растительные остатки и др.) [3], которые на 70...80% способны к биологическому распаду в аэробных и анаэробных условиях. Морфологический состав органической части на типовом полигоне ТБО (площадью 10,0...15,0 га) приведён в таблице 1.

Если взять 1 кг ТБО при влажности 40...60%, с которой ТБО вывозятся на полигон, зная процентное содержание основных химических элементов в органических веществах ТБО (см. таблицу 1 – 47,2%) и атомные массы углерода, водорода, кислорода, азота, серы можно рассчитать количество сухого органического вещества, способного к биологическому распаду:

$$1000 \times 0,472 \times 0,60 \times 0,75 = 212,4 \text{ г} \quad (1)$$

где 0,75 – количество грамм-молей органических веществ в 1 кг ТБО

Анаэробный распад органических веществ в теле полигона продолжается несколько десятилетий, при этом интенсивность этого процесса достигает максимума уже через год после закрытия полигона ТБО изолирующим слоем грунта и находится

практически на одном уровне на протяжении 5...6 лет, а дальше постепенно спадает [4]. Для практических расчетов можно считать, что 42,5% биогаза выделяется в первые 6 лет и ещё 57,5% - в следующие 15.

Таблица 1

**Морфологический состав органических веществ ТБО на полигоне**

| Морфологический состав органической части ТБО | Полигон                    |                                        | Состав основных химических элементов в сухом веществе органических компонентов ТБО, % |      |       |      |      |       |
|-----------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|------|------|-------|
|                                               | Содержимое по массе ТБО, % | Содержимое в органической части ТБО, % | С                                                                                     | Н    | О     | N    | S    | Зола  |
| Бумага                                        | 21,0                       | 44,5                                   | 45,4                                                                                  | 6,1  | 2,1   | 0,3  | 0,12 | 6,0   |
| Пищевые отходы                                | 12,0                       | 25,4                                   | 41,7                                                                                  | 5,80 | 27,6  | 2,8  | 0,25 | 1,9   |
| Дерево                                        | 2,1                        | 4,5                                    | 48,30                                                                                 | 6,00 | 42,40 | 0,30 | 0,11 | 2,90  |
| Текстиль                                      | 2,6                        | 5,5                                    | 46,20                                                                                 | 6,40 | 1,8   | 2,2  | 0,2  | 3,2   |
| Кожа, резина                                  | 4,6                        | 9,5                                    | 59,80                                                                                 | 8,30 | 19,0  | 1,0  | 0,3  | 1,6   |
| Пластмасса                                    | 3,4                        | 7,2                                    | 67,9                                                                                  | 8,57 | 0,3   | 1,13 | 0,05 | 12,02 |
| Кости                                         | 1,6                        | 3,4                                    | 59,6                                                                                  | 9,5  | 24,7  | 1,02 | 0,19 | 4,99  |
| Смесь компонентов                             | 47,2                       | 0                                      | 48,1                                                                                  | 6,53 | 33,3  | 1,18 | 0,15 | 10,74 |

Зная процентное содержание в органическом веществе ТБО и атомные массы углерода, водорода, кислорода, азота, серы можно определить

количество грамм-молей этих элементов в 1 кг ТБО (табл. 2).

Таблица 2

**Масса исходных веществ при анаэробном распаде органических веществ 1 кг ТБО**

| Входные химические элементы |          | Исходные соединения |          |                   |                       |                   |
|-----------------------------|----------|---------------------|----------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| Химический знак             | Масса, г | Химическая формула  | Масса, г | Массовая часть, % | Объём, м <sup>3</sup> | Объёмная часть, % |
| С                           | 102,0    | CO <sub>2</sub>     | 162,2    | 66,7              | 0,0923                | 42,36             |
| Н                           | 13,78    | CH <sub>4</sub>     | 77,2     | 31,8              | 0,1210                | 55,53             |
| О                           | 70,7     | NH <sub>3</sub>     | 3,06     | 1,36              | 0,0044                | 2,02              |
| N                           | 2,50     | H <sub>2</sub> S    | 0,34     | 0,14              | 0,0002                | 0,09              |
| S                           | 0,32     |                     |          |                   |                       |                   |
| H <sub>2</sub> O            | 53,5     |                     |          |                   |                       |                   |
|                             | 242,8    |                     | 242,8    | 100               | 0,218                 | 100               |

В процессе хранения ТБО на полигоне происходит преимущественно анаэробный процесс распада органических веществ, во время которого образуются новые химические соединения – двуокись углерода (CO<sub>2</sub>), метан (CH<sub>4</sub>), аммиак (NH<sub>3</sub>), сероводород (H<sub>2</sub>S). Это газообразные вещества, которые, смешиваясь, образуют биогаз. Зная молекулярные массы образованных соединений CO<sub>2</sub> (44), CH<sub>4</sub> (16), NH<sub>3</sub> (17), H<sub>2</sub>S (34) и воды H<sub>2</sub>O (18), можно определить массы веществ, которые образуются при распаде 1 кг ТБО (см. таблицу 2).

Исходя из выше сказанного, рассчитаем объём образованного биогаза (G<sub>max</sub>) на полигоне за год по формуле:

$$G_{max} = M \cdot V(V) \quad (2)$$

где M – годовое количество ТБО, которые поступают на полигон; V – объём биогаза, который образуется с 1 кг ТБО (V=0,218 м<sup>3</sup>/кг).

$$M = H \cdot Ч \quad (3)$$

где H – норма накопления ТБО на 1 жителя за 1 год (H=300 кг); Ч – численность жителей города.

Таким образом, например, для города с 500 тыс. Жителей объём образования биогаза на полигоне ТБО за год составит:

$$G_{max} = 300 \cdot 500000 \cdot 0,218 = 32700000 \text{ м}^3$$

Как видно из расчетов, есть возможность получения значительных объёмов биогаза для производства как тепловой, так и электроэнергетики.

**Выводы.** По результатам исследования обнаружено образование значительных объёмов парниковых газов на полигонах ТБО Луганской Народной Республики, что составляет 3...4% от общих их выбросов. Внесено предложение относительно использования биогаза с полигонов ТБО для производства энергии. Проведен анализ состава ТБО на городских полигонах и возможность получения биогаза. Предложена схема ориентировочной оценки объёма биогаза, который выделяется с полигона ТБО.

#### Л и т е р а т у р а

1. Техническая и экономическая оценка утилизации биогаза на Луганском полигоне твердых бытовых отходов через механизм Киотского протокола. – Луганск., 2008.
2. Утилизация биогаза твердых бытовых отходов (ТБО) в г. Александровск ЛНР: отчет / ТОВ «Луганская производственно-экологическая фирма «Зефир». – Луганск, 2009.
3. Твердые бытовые отходы (сбор, транспорт, обезвреживание)/В.Г. Систер, А.Н. Мирный, Л.С. Скворцов и др.- М.: АКХ им. К.Д. Панфилова, 2001.
4. Малей О.В. Поведение с твердыми бытовыми отходами: наши реалии / О.В. Малей // экологический весник. – 20016. - №1. – С.8-10.

**Malkin V.Y., Pavlenko A.T., Kravtsova O.A.**  
**AN APPROXIMATE ESTIMATE LANDFILL GAS**  
**ALLOCATED TO SOLID WASTE LANDFILL**

*An analysis of the composition of municipal solid waste in urban landfills and waste dumps and biogas generation? macro components which are methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)/ The conclusions on the use of biogas for energy production. Substantiated and proposed a scheme of approximate estimation of biogas capacity allocated for landfill solid waste.*

**Key words:** municipal solid waste, landfill, organic waste, organic matter, chemical elements, biogas, landfill gas.

**Малкин Владимир Юрьевич**, к.ю.н., доцент, заведующий кафедрой «Пожарная безопасность», директор Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

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

**Malkin Vladimir Yurevich**, candidate of Law, Associate Professor, Head of the Department "Fire Safety", Director of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Павленко Александр Тимофеевич**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** 852424@i.ua

**Pavlenko Alexander Timofeevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Technosphere Safety" of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Кравцова Ольга Александровна**, старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** olgakravcova127@mail.ru

**Kravtsova Olga Aleksandrovna**, Senior Lecturer of the Technosphere Safety Department of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Аварийно-спасательных работ» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 15.05.2022

УДК 629.1

## ВЕРОЯТНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ АНАЛИЗЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РИСКОВ В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА-СРЕДА»

Медяник В.А., Сало В.И., Некрутенко В.В., Рубаненко В.Ю.

### THE PROBABILITY OF AN ERROR IN THE COMPUTER ANALYSIS OF PRODUCTION RISKS IN THE SYSTEM «MAN-MACHINE-ENVIRONMENT»

Medyanik V.A., Salo V.I., Nekrutenko V.V., Rubanenko V.Yu.

*Рассмотрены вопросы совершенствования методологических аспектов оценки влияния вероятности ошибки операторов служб охраны труда, при анализе и обработке статистических данных, на показатели производственного риска для определения управленческих решений в системе «человек - машина - среда».*

**Ключевые слова:** вредные и опасные производственные факторы, человек-оператор, компьютерная обработка данных, техногенное событие, вероятность безошибочного выполнения операций, последствия.

**Введение.** Общеизвестно, что основная причина обострения противоречия между потребностями человека и возможностями окружающей природной среды для их удовлетворения, которое привело к росту проблем создания безопасных условий труда и существования человека, заключается в устаревшем отношении к биосфере как к неисчерпаемой сокровищнице ресурсов и несоответствия новых средств производства традиционным способам их использования [1, 2]. Причем так называемый «человеческий фактор» (особенно ошибки персонала) занимает первое место среди факторов, вызывающих техногенные аварии [3]. Его предпосылки для возникновения небезопасной, критической и аварийной ситуации могут начинаться не только непосредственно на производственном участке, а еще на стадии проектирования технологического процесса или разработки управленческих решений для его осуществления на основе использования статистических данных об условиях возникновения таких ситуаций.

Развитие информатизации привело к возникновению ряда специальных теоретических и прикладных проблем охраны труда, связанных с функционированием комбинированной системы «человек - машина - среда», поскольку быстрое и достоверное восприятие и обработка человеком-оператором в условиях монотонности увеличенного потока входящей и исходящей информации с постоянной сменой ее структуры и формы приводит

к росту значения «человеческого фактора». Это связано с резким подорожанием цены возможной ошибки, которая способна существенно повлиять на расходы по разработке и внедрению мероприятий в системе управления охраной труда (СУОТ).

В частности, результаты исследований [2, 4] указывают на то, что главное влияние на показатели производственного риска в опасных, критических и аварийных ситуациях осуществляют все виды энергии техногенного происхождения, а закономерности появления приключений характеризуются тем, что:

- аварийность и травматизм интерпретируются потоками случайных событий с экспоненциальным распределением времени между их появлением;

- каждое конкретное событие возникает в результате цепи соответствующих предпосылок, а не отдельной причины;

- инициаторами и звеньями такой цепи событий являются ошибки работников, отказы техники и (или) не рассчитанные или неожиданные для людей или превышающие нормативные значения для техники, влияния на них извне.

Причем, наиболее распространенной цепью причин техногенных событий является такая последовательность событий и предпосылок:

- ошибка человека-оператора, отказ техники и (или) неблагоприятное для них внешнее воздействие;

- появление опасного фактора в виде энергии или вещества в неожиданном (недопустимом) месте и (или) несвоевременно;

- отсутствие или неисправность предусмотренных на эти случаи средств защиты и (или) неточные (неправильные) действия работников в таких ситуациях;

- распространение и влияние опасных факторов на элементы техники, людей и (или) окружающую среду;

- нанесение ущерба человеческим, материальным и природным ресурсам вследствие ухудшения их свойств и (или) целостности.

Но, при компьютерной обработке данных в отношении указанных выше характеристик и признаков техногенных событий, которые являются определяющими при разработке управленческих решений, которые, в первую очередь, связаны с суммой средств на необходимые мероприятия по охране труда и их первоочередности, существенное влияние на их корректность осуществляют также возможные вынужденные и непринужденные ошибки работников службы охраны труда предприятия. Например, в [4...7] приведены результаты совершенствования существующих и разработки новых методов и средств повышения эффективности управления охраной труда на предприятиях путем программного и информационного обеспечения с целью идентификации, оценки и прогнозирования производственного риска, определения угрожающих опасностей, показателей вредных и опасных производственных факторов (ВОПФ), которые существенно влияют на уровень травматизма и профессиональных заболеваний.

Каждое из указанных и других исследований, которые выполнялись в разных направлениях совершенствования системы управления охраной труда, кроме наличия обработанных массивов статистических данных, объединяет и необходимость учета возможной ошибки человека-оператора, что повышает корректность как ввода исходных данных, так и получение конечных результатов, поскольку они влияют не только на размер средств, которые должны вкладываться в конкретные мероприятия по охране труда, но и на их первоочередность.

Но введенные еще в начале развития методов при расследовании авиационных происшествий, как наиболее тяжких с точки зрения последствий, экспериментальные характеристики безошибочности среднестатистического человека [8] указывают, например, на то, что вероятность безошибочного выполнения таких ее функциональных действий, как выявление сигнала и принятие решения составляет 0,9380-0,9780, а проверка логического условия образца "или" составляет 0,9960, или считывания информации с дисплея - соответственно 0,9950-0,9995, или нажатие кнопки - в пределах 0,9985-0,9999. Кроме того, также экспериментально установлено, что диапазоны изменения безошибочности человека в нормальных и экстремальных условиях значительно отличаются. Так, ошибки при выполнении арифметических действий при первых условиях находятся в диапазоне 10-5-10-3, а в состоянии стресса под влиянием реальной угрозы - от 10-4 до 10-2, то есть меняются, как минимум, на порядок. Кроме того, необходимо отметить и то, что количество ошибок человека не уменьшается резко после воздействия сильного стресс-фактора. Так, в течение первых 60 с после его влияния ошибки человека приближаются к единице на одно

действие, то есть он не способен безошибочно выполнять свои функциональные действия почти на 100%. А количество ошибок через 5 минут после стресса составляет одну на 5-6 действий, через 30 минут - одну на 6-10 действий. По истечении нескольких часов от воздействия сильного стресс-фактора число тех же ошибок находится в диапазоне от 4 на 100 действий до 5 на 1000 действий. Исходя из сказанного, несложно представить количество возможных ошибок человека-оператора при вводе и обработке статистических данных только при использовании клавиатуры компьютерной техники, исходя из количества нажатий на клавиши за час рабочего времени. Но на вероятность их возникновения влияет не только общее количество функциональных действий и скорость их выполнения, а и период времени, в течение которого они выполняются, то есть вероятность увеличивается вследствие роста усталости и возникновения стрессовых ситуаций из-за повышенной ответственности за конечный результат и т.п., включая психофизиологические характеристики человека-оператора.

Из приведенного ясно, что эффективность использования информационно-аналитических систем, в частности СУОТ, которые позволяют автоматизировать сбор, обработку и анализ статистических данных, моделировать и прогнозировать показатели ВОПФ для принятия оперативных управленческих решений на уровне предприятий зависит и от вероятности ошибок работников служб охраны труда при использовании компьютерной техники.

**Цель исследования.** В результате выполненного анализа состояния вопроса возникает необходимость усовершенствования методики оценки показателей производственного риска при использовании для их обработки информационно-аналитических систем, путем учета последствий взаимодействия человека-оператора с компьютерной техникой, с целью определения вероятности возникновения ошибок при обработке показателей ВОПФ в системе «человек - машина - среда» и их влияния на корректность управленческих решений.

Известно, что структура операторской деятельности имеет определенные специфические особенности, которые заключаются в том, что человек лично или по программе определяет цель деятельности и пути решения задач по достижению определенного результата, взаимодействует с предметом труда через информационную модель, оказывая влияние на него через систему технических средств.

Способность человека на должном уровне поддерживать оптимальные функциональные параметры (работоспособность, внимательность, помехоустойчивость и т.д.) в течение определенных промежутков времени и при различных сложных

условиях существенно зависит от индивидуальных проявлений основных свойств его нервной системы, то есть психофизиологических факторов (рис. 1),

влияющих на результаты трудовой деятельности [2, 7, 8, 9].



Рис. 1. Психофизиологические факторы, влияющие на человека-оператора

Анализ показывает, что эффективность и надежность работы напрямую зависит от уровня профессиональной подготовки, мотивации и индивидуальных особенностей человека-оператора и рабочего места, то есть должны учитываться, кроме общеизвестных ВОПФ (уровень шума, вибрации, освещенности и других санитарно-гигиенических условий), еще и психофизиологические, влияющие на качество решения поставленных задач, которая определяется надежностью (безошибочностью) труда и его производительностью.

Результаты научных исследований по совершенствованию технических и организационных факторов системы управления охраной труда в различных отраслях, дают возможность определить пути уменьшения влияния, как указанных факторов, так и улучшения психофизиологического состояния человека-оператора и санитарно-гигиенических условий на его рабочем месте. Вредные и опасные производственные факторы, которые негативно влияют на человека-оператора при использовании компьютерной техники, широко известны — это фиксированная рабочая поза, электромагнитное излучение, нарушение параметров освещения и микроклимата, термальный дискомфорт, наличие бэкграундного шума, комбинированное воздействие шума и вибрации и т. д., и регламентируются требованиями [10], что позволяет при соблюдении нормативных параметров свести к минимуму это воздействие.

Однако допустив, что негативное влияние вредных и опасных факторов производственной среды, а также психофизиологическое и функциональное состояние организма находятся в нормированных границах, необходимо учитывать возможные случайные и системные ошибки, а также промахи человека-оператора при обработке информационных данных и использовании программного обеспечения. Системные ошибки возникают при обработке статистических данных вследствие неправильного оперирования с диалоговыми окнами, отключение макросов, блокирование антивирусом и т.п., но правильность работы программного обеспечения не должна ставиться под сомнение, а быть одинаковой при выполнении однотипных задач.

Случайные ошибки обусловлены рядом причин, действие которых неодинаково, поэтому они могут отличаться одна от другой и эти отличия имеют случайную величину.

Промахи, которые возникают вследствие недостатка внимания, аккуратности и других особенностей человека, можно минимизировать путем профессионального отбора, создания надлежащих условий работы и распорядка рабочего дня, медицинского обслуживания и вообще, так называемого «социального пакета».

При решении задач по определению достоверности осуществления ошибок при обработке в службе охраны труда актов по форме Н-1 за 25 лет для определения основных рискообразующих факторов и последствий их проявления на одном из предприятий машиностроения определено, что одним из основных

показателей работы человека-оператора есть безошибочность и восстанавливаемость [4, 7, 8, 9].

Для типичных повторяющихся операций, в качестве показателя без ошибочности можно использовать интенсивность ошибок. Для человека эти показатели должны определяться не в функции времени, а в расчете на одно выполненное действие, в частности, как:

$$P_j = \frac{N_j - n_j}{N_j}, \quad (1)$$

$$\lambda_j = \frac{n_j}{N_j \cdot T_j}, \quad (2)$$

где  $P_j$  – вероятность безошибочного выполнения операций по обработке акта по форме Н-1;

$N_j$  и  $n_j$  – соответственно общее количество обработанных актов и допущенное при этом количество ошибок;  $\lambda_j$  – интенсивность ошибок  $j$ -го вида;

$T_j$  – среднее время обработки акта.

Формула (2) справедлива только для участка стойкой трудоспособности оператора, то есть в предположении о пуассоновском характере потока ошибок. В этом случае, зная интенсивность  $\lambda_j$  ошибок при выполнении разных операций и алгоритм работы оператора, можно найти вероятность безошибочного выполнения этого алгоритма:

$$P_{on} = \prod_{j=1}^r P_j^{k_j} = e^{-\sum_{j=1}^r (1-P_j)k_j} = e^{-\sum_{j=1}^r \lambda_j \cdot T_j \cdot k_j}, \quad (3)$$

где  $k_j$  – количество выполненных операций  $j$ -го вида;  $r$  – количество разных типов операций ( $j = 1, 2, \dots, r$ ).

Основным показателем восстанавливаемости является вероятность исправления допущенной ошибки, которую при самоконтроле можно определить по формуле:

$$P_{исп.} = P_{\kappa} \cdot P_{выявл.} \cdot P_{вп}, \quad (4)$$

где  $P_{\kappa}$  – относительное количество контролируемых действий;  $P_{выявл.}$  – вероятность выявления оператором допущенной ошибки;  $P_{вп}$  – вероятность недопущения ошибочных действий при повторном решении задач.

Надежность работы оператора не остается величиной постоянной, а меняется со временем, то есть уменьшается вследствие усталости [11]. Поэтому необходимо рассматривать показатели надежности оператора в виде случайных функций времени.

Определим вероятность безошибочной работы оператора с учетом информационной нагрузки, проявлением которой является переполнения оперативной памяти человека и дефицит времени. В

этом случае среднее значение вероятности безошибочной работы оператора определяется как:

$$\overline{P_{on}} = \sum_{i=1}^3 P_i P_{on/i}, \quad (5)$$

где  $P_i$  – вероятность возникновения одного или двух событий (состояний) из первых трех указанных как:  $P_1$  – вероятность переполнения оперативной памяти;  $P_2$  – вероятность возникновения дефицита времени;  $P_3$  – вероятность отсутствия информационной перегрузки;  $P_{on/i}$  – условная вероятность безошибочной работы в  $i$ -м состоянии.

Вероятность переполнения оперативной памяти определяется как:

$$P_i = h \cdot \{k\} k_0 = \sum_{k=k_0+1}^{\infty} P_k = 1 - \sum_{k=0}^{k_0} P_k, \quad (6)$$

где  $k$  – коэффициент очередности  $k > 1$ ;  $p$  – коэффициент накопления очередности  $p \leq 0,4$ .

$$p = N_{оч} / n, \quad (7)$$

где  $N_{оч}$  – количество актов, которые обработаны в условиях очередности на обслуживание;  $n$  – общее количество обрабатываемых актов.

Вероятность того, что длина очередности равняется  $k$  можно определить по:

$$P_k = \beta^n (1 - \beta), \quad (8)$$

где  $\beta = \lambda / \mu$  – приведенная плотность входного потока;  $\lambda$  – интенсивность входного потока;  $\mu$  – интенсивность обслуживания.

Дефицит времени возникает при условии, если время, реально имеющийся у оператора, меньше необходимого для обработки данных, то есть, если:

$$\tau_{\lambda} - \tau_{оч} < \overline{\tau_{on}}, \quad (9)$$

$$\tau_{оч} > \tau_{\lambda} - \overline{\tau_{on}} = \tau_0, \quad (10)$$

где  $\tau_{\lambda}$  – заданный лимит времени;  $\tau_{on}$  – оптимальное время обработки информации оператором;  $\tau_{оч}$  – время ожидания очередности.

Тогда, в случае отсутствия переполнения оперативной памяти, вероятность возникновения дефицита времени определяется как:

$$P_2 = (1 - P_1) P_{\tau}, \quad (11)$$

где  $P_{\tau}$  – вероятность того, что время ожидания очередности превышает некоторую величину  $\tau$ :

$$P_{\tau} = P\{\tau_{оч} > \tau\} = \beta e^{-(\mu - \lambda)\tau}, \quad (12)$$

а вероятность отсутствия информационной перегрузки как:

$$P_3 = (1 - P_1) \cdot (1 - P_2). \quad (13)$$

Вероятности  $P_{on/i}$  можно получить в результате анализа деятельности оператора по формуле (3) или экспериментально.

Вероятность безотказного, безошибочного и своевременного выполнения поставленной задачи находится как:

$$P = K_{on} [P_m \cdot P_{on} \cdot P_{св} + (1 - P_m) \cdot P_{on} \cdot P_{св} + (1 - P_{on}) P_m \cdot P_{испр.}], \quad (14)$$

где  $P_{m(t)}$  – вероятность безотказной работы технических устройств;  $K_{on}$  – коэффициент готовности оператора;  $P_{on}$  – вероятность безошибочной работы оператора;  $P_{св}$  – вероятность своевременного выполнения необходимых действий;  $P_{испр}$  – вероятность исправление ошибочных действий.

Расчеты надежности технических средств показал, что, во-первых, она определяется двумя основными факторами – надежностью технического и программного обеспечения, а во-вторых, основным требованием к функциональной надежности является то, чтобы никакие действия пользователя в рамках интерфейса, предоставленного системой, не приводили к разрушению данных и отказов в ее работе. Установлено, что вероятность безотказной работы на протяжении времени обработки одного акта составляет  $P_m = 0,989$ .

При анализе системы выявлены три возможных состояния, которые влияют на надежность оператора, первый из которых является нормальным (ненапряженным), второй – связанный с дефицитом времени, а третий – обусловлен информационной перегрузкой. Расчеты надежности оператора, проведенный по формуле (3) для каждого из этих состояний, дал следующие результаты:

$$P_{on1} = 0,975; P_{on2} = 0,960; P_{on3} = 0,945.$$

В результате выполненных по представленной методике вычислений получено, что вероятность безошибочного выполнения на компьютерной технике операций по обработке показателей производственного риска составляет: при преобразовании информации – 0,9942...0,9995; при выполнении действий с клавиатурой – 0,9930 ... 0,9965 и мышкой – 0,9936 ... 0,9995; при считывании информации для проверки – 0,9950 ... 0,9995, что подтверждается экспериментальными данными, приведенными в [2].

**Выводы.** В результате выполненного исследования установлено, что использование интенсивности ошибок для типовых операций человека-оператора, при обслуживании

компьютерной техники в информационно-аналитической системе управления охраной работы, дает возможность определять показатель ее безошибочности, а соответственно, и восстанавливаемости, в расчете на одно функциональное действие. Анализом системы «человек – машина – среда» выявлено три возможных состояния, которые влияют на надежность оператора, первый из которых – является нормальным (ненапряженным), второй – связанный с дефицитом времени, а третий – обусловлен информационной перегрузкой. Расчеты надежности оператора по определенной интенсивности ошибок, при выполнении различных операций, и алгоритмом работы оператора, проведен для каждого из этих состояний с целью оценки вероятности безошибочного выполнения заданного алгоритма, дал следующие результаты:  $P_{on1} = 0,975$ ;  $P_{on2} = 0,960$ ;  $P_{on3} = 0,945$ . Осуществленные по представленной методике вычисления показывают, что вероятность безошибочного выполнения на компьютерной технике операций по определению показателей производственного риска составляет: при преобразовании информации – 0,9942...0,9995; выполнении действий с клавиатурой – 0,9930...0,9965 и мышкой – 0,9936...0,9995; при считывании информации для проверки – 0,9950...0,9995.

### Л и т е р а т у р а

1. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний. Пер. с франц. / Д. Дюбуа, Т. Прад. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
2. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. – М.: ГНТП «Безопасность», 1996. – 424 с.
3. Касьянов М.А. Дослідження методів оцінки показників виробничого ризику для вдосконалення системи управління охороною праці (СУОП) / М.А. Касьянов, Д.О. Вишневський, О.М. Гунченко, І.В. Савченко // Н.-техн. зб. «Комунальне господарство міст». – Харків: ХНУ міського господарства ім. О.М. Бекетова. – 2015. – Вип. 120 (1). С. 243-247.
4. Гунченко О.Н. Совершенствование системы управления охраной труда на машиностроительных предприятиях: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.01 «Охрана труда» / О.Н. Гунченко // ВНУ им. В. Даля. – Луганск, 2007. – 19 с.
5. Кружилко О.Є. Наукові засади оперативного управління охороною праці: автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охрана праці» / О.Є. Кружилко // ННДІ промислової безпеки та охорони праці. – К. – 2011. – 36 с.
6. Савченко І.В. Удосконалення методів забезпечення нормованих параметрів променевого опромінення на робочих місцях машинобудівних підприємств: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охрана праці» / І.В. Савченко // СНУ ім. В.Даля. – Луганськ. – 2013. – 20 с.
7. Vyshnevskyy Dmytro. The ways of improving performance of industrial risk and working conditions / Dmytro Vyshnevskyy, Nikolay Kasyanov, Viktor Medanyk –

ТЕКА Com. Mot. i Energ. Roln. – Lublin, 2013. – Vol. 13, №4. – P. 280 – 287.

8. Вудсон У., Коновер Д. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов / Под ред. В.Ф. Венда. – М.: Мир, 1968. – 517 с.

9. Касьянов М.А., Розрахунок надійності устаткування та ризику заподіяння шкоди здоров'ю коваля-штампувальника / М.А. Касьянов, О.В. Медяник, Д.О. Вишневський // 36. наук. Пр. «Надійність металургійного обладнання». – Дніпропетровськ, 2013. – С. 50-65.

10. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 03.06.2003 №118.

11. Гунченко О.М. Визначення обмежень при виконанні теоретичних досліджень з оцінки виробничого ризику / О.М. Гунченко, Д.О. Вишневський, Ю.С. Бикова // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2013. - №25, Ч.2. – С. 185-192.

**Medyanik V.A., Salo V. Iv., Nekrutenko V. V., Rubanenko V. Yu.**

#### **THE PROBABILITY OF AN ERROR IN THE COMPUTER ANALYSIS OF PRODUCTION RISKS IN THE SYSTEM "MAN-MACHINE-ENVIRONMENT"**

*The issues of improving the methodological aspects of assessing the impact of the probability of error of operators of labor protection services, in the analysis and processing of statistical data, on the indicators of production risk for determining management decisions in the "man - machine - environment" system are considered.*

**Keywords:** harmful and dangerous production factors, human operator, computer processing of data, technogenic event, probability of error-free execution of operations, consequences.

**Медяник Виктор Александрович**, к.т.н., доцент кафедры «Охрана труда и БЖД» ГОУ ВО ЛНР

«Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**Medyanik Victor Aleksandrovich**, candidate of technical Sciences, docent of the Department of «Labor protection and life safety» of SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University»

**Сало Владимир Иванович**, доцент кафедры «Охрана труда и БЖД» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**Salo Vladimir Ivanovich**, candidate of technical Sciences, docent of the Department of «Labor protection and life safety» of SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University»

**Некрутенко Виктор Витальевич**, старший преподаватель кафедры «Охрана труда и БЖД» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** ot.bgd.dahl@yandex.ru

**Nekrutenko Victor Vitalievich**, senior lecturer of the Department of «Labor protection and life safety» of SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University»

**Рубаненко Виктория Юрьевна**, ассистент кафедры охраны труда и БЖД ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** viktorija408@gmail.com

**Rubanenko Victoria Yurievna**, assistant of the department «Labor protection and life safety» of SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University»

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

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 004+378.4

## СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЗНАНИЙ

Орешкин М.В., Орешкина М.А., Ермак В.П., Ермак А.Д.

## SYSTEMS OF COMPUTER DIAGNOSTICS OF KNOWLEDGE

Oreshkin M., Oreshkina M., Ermak V., Ermak A.

*Целью данной работы является формирование системы тестовых заданий и использование в учебном процессе Интернет технологий. Практический выход состоит в том, что тесты предназначены для интерактивной самопроверки учащимися своих знаний.*

**Ключевые слова:** диагностика знаний, компьютерные технологии, тестовые задания.

**Введение.** В настоящее время одним из приоритетных направлений совершенствования методики внутривузовского контроля знаний студентов является тестовый контроль. К нему предъявляются определенные требования: валидность, определенность, надежность, практичность, простота в использовании и прогностическая ценность [1]. По форме тестовые задания можно разделить на следующие основные группы: задания с выбором верного ответа (или нескольких верных ответов) из набора предлагаемых – это так называемые тесты закрытого типа; ввод предполагаемого ответа на задание самим тестируемым – тесты открытого типа. При компьютерном тестировании чаще используют тесты закрытого типа. При этом следует иметь в виду, что неправильные варианты ответов должны быть правдоподобными [2]. Удачно составленные задания отвлекают внимание примерно половины испытуемых, не знающих правильного ответа на вопрос. Исходя из практического опыта, можно рекомендовать следующую методику выбора удачного задания: вначале проводится письменный тест с открытой формой заданий, а в дальнейшем из ответов на этот тест составляются варианты ответов для проведения компьютерного теста закрытого типа. Обязательным условием и основным этапом при разработке и формировании теста является оценка его качества, трудности и надежности. Практический опыт разработки тестов показывает, что создание качественного теста предполагает совместную работу преподавателя-предметника со специалистами по тестам. Оценка качества теста достигается путем обсуждения несколькими экспертами формы, содержания теста и вариантов ответов. Трудность теста можно определить экспериментально (по частоте появления верных ответов на задания), надежность же теста характеризуется воспроизводимостью результатов

при повторном тестировании и также может быть установлена экспериментально [3, 4].

Разработка теста начинается с введения, в котором описывается проблемная ситуация при контроле знаний по изучаемой дисциплине, наличие уже имеющихся тестов, их достоинства и недостатки, адекватность реальной ситуации и проблемы применения. Далее излагаются цели, которые ставятся при разработке и применении данного теста, и задачи, решаемые при достижении поставленных целей. Затем описывается предполагаемый контингент для тестирования, время и условия применения теста [5].

На следующем этапе формулируются требования к знанию исходного раздела или темы. На очередном этапе проектирования требуется перечислить содержание теста по контролируемому разделу программы курса. Следующим шагом является перевод контрольных вопросов в контролирующие задания педагогического теста. В отличие от обычных вопросов, имеющих в экзаменационных билетах, здесь речь идет о системе более дробных, коротких, взаимосвязанных между собой общей логикой заданий, отвечающих определенным научно обоснованным критериям качества. Задания теста представляют собой не вопросы и не задачи – они сформулированы в форме утверждений, которые в зависимости от ответов испытуемых могут превращаться в истинные или ложные высказывания. Последние легко кодируются двоичным кодом (1 или 0) и используются для дальнейшей обработки [6, 7].

Наибольшее распространение на практике получили четыре основные формы тестовых заданий. Исторически первой является форма заданий, где есть готовые ответы, из которых обычно один бывает правильным, а остальные – неправильные. В тестах с инструкцией «дополнить», отвечая на каждое задание, испытуемый дописывает (вводит в компьютер) ответ в месте прочерка посредством добавления одного или нескольких ключевых слов, после чего предположение приобретает утвердительную форму.

Третьей формой тестовых заданий являются появившиеся сравнительно недавно задания с инструкцией «установить соответствия». Суть их заключается в необходимости сопоставить элементы

одного множества элементам другого множества с вдвое большей мощностью. При этом каждому элементу первого множества соответствует один и только один элемент второго. Наконец, четвертая форма тестовых заданий – это задания на установление правильной последовательности, служащие для проверки знания последовательности действий обучающегося.

**Цель работы** – формирование системы тестовых заданий и использование в учебном процессе Интернет технологий. Таким образом, на следующем этапе сформированная система тестовых заданий подвергается первичной эмпирической проверке на типичном случайно отобранном контингенте достаточной численности (желательный объем выборки – не менее ста человек). Результаты тестирования заносятся в двумерную таблицу, где по горизонтали располагаются задания теста, а по вертикали – испытуемые. Клетки таблицы представляют собой значения  $x_{ij}$ , которые при правильном ответе  $i$ -го испытуемого на  $j$ -е задание равны 1, а при неправильном ответе – 0. После двукратного ранжирования заданий по возрастанию сложности и испытуемых по убыванию полученных баллов единицы должны группироваться в левой верхней части таблицы, а нули – в ее правой нижней части. Обработка полученных в ранговой шкале измерений табличных данных по специальным формулам математической статистики позволяет вычислить показатели надежности и валидности системы тестовых заданий [8, 9]. Очередной этап заключается в выявлении и исключении из теста несистемных заданий и нетипичных испытуемых.

После многократных ротаций заданий и экспериментальных проверок добиваются нормального закона распределения с охватом всей шкалы относительно среднего балла для испытуемых и относительно числа правильных ответов для заданий. Процедуры тестирования и обработки тестовых результатов проводятся с помощью современных компьютерных средств. Статистическая обработка результатов тестирования выполняется с помощью специализированных программных продуктов, созданных на кафедре компьютерного образования ВГАВМ.

**Изложение основного материала.** Компьютерные тестирующие системы Витебской государственной академии ветеринарной медицины (на примере которой мы рассматриваем вопросы тестирования, характерные для любого вуза и в любой стране мира) интегрированы в одну программную оболочку, общий вид которой приведен на рис. 1.

Предусмотрены три режима работы: переход к следующему экрану (кнопка ВПЕРЕД), открытие справочной системы (кнопка ПОМОЩЬ) и завершение работы с программой (кнопка ВЫХОД).

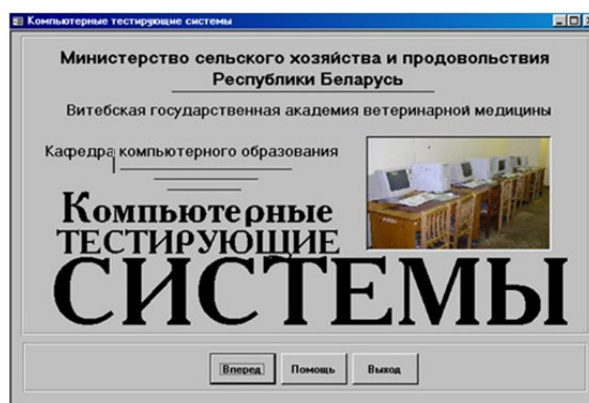


Рис. 1. Вид программной оболочки «Компьютерные тестирующие системы»

Оболочка объединяет в себе четыре группы тестирующих систем: для студентов, аспирантов, преподавателей и слушателей факультета повышения квалификации и переподготовки кадров (рис. 2), показаны тестирующие системы для студентов факультета ветеринарной медицины по курсу компьютерной грамотности; названия тестов даны в правой части окна; тесты содержат от 30 до 60 вопросов различной степени сложности и выверены на валидность с помощью известных тестовых методик; внутренняя система оценки соответствует общепринятому стандарту по курсу информационных технологий).

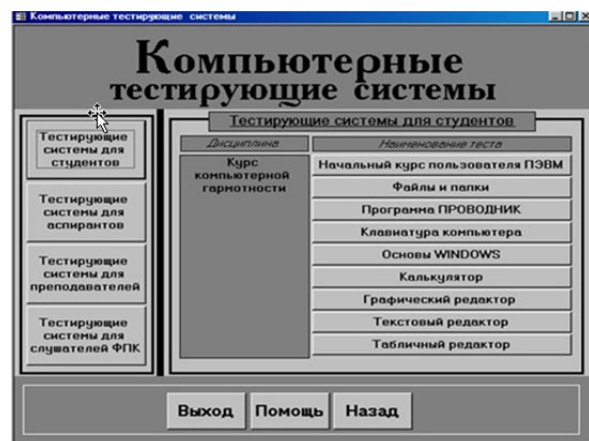


Рис. 2. Структура тестирующих систем (приведены тесты для студентов факультета ветеринарной медицины по курсу компьютерной грамотности)

На рис. 3 показаны тестирующие системы для аспирантов и соискателей биологических специальностей сельскохозяйственных вузов по курсу «Основы информационных технологий» (структурно они разделены на пять разделов, каждый из которых имеет свое собственное представление тестовых заданий и вопросов. Тесты для преподавателей разнообразны и группируются по дисциплинам. В системе 34 дисциплины (из числа тех, которые изучаются в академии ветеринарной медицины). Предназначены для

экспресс-тестирования  
преподавательского состава.

Особое место отводится тестирующим  
системам для слушателей факультета повышения

профессорско-

квалификации и переподготовки кадров (ФПК и  
ПК). Тест-системы рассчитаны на различные  
категории слушателей, представленные на рис.4.

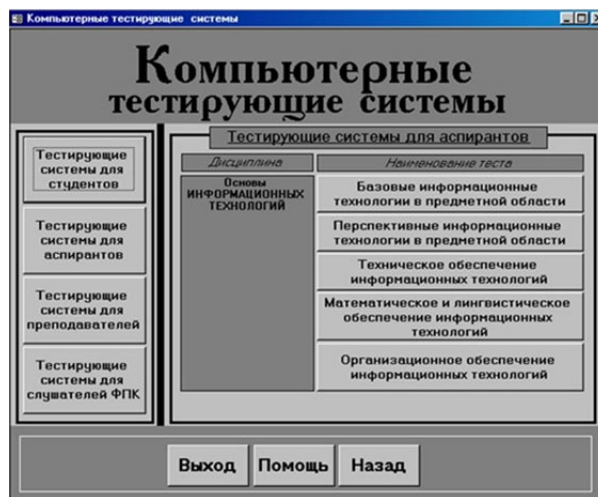


Рис. 3. Структура тестирующих систем для аспирантов и соискателей биологических специальностей сельскохозяйственных вузов по курсу «Основы информационных технологий»

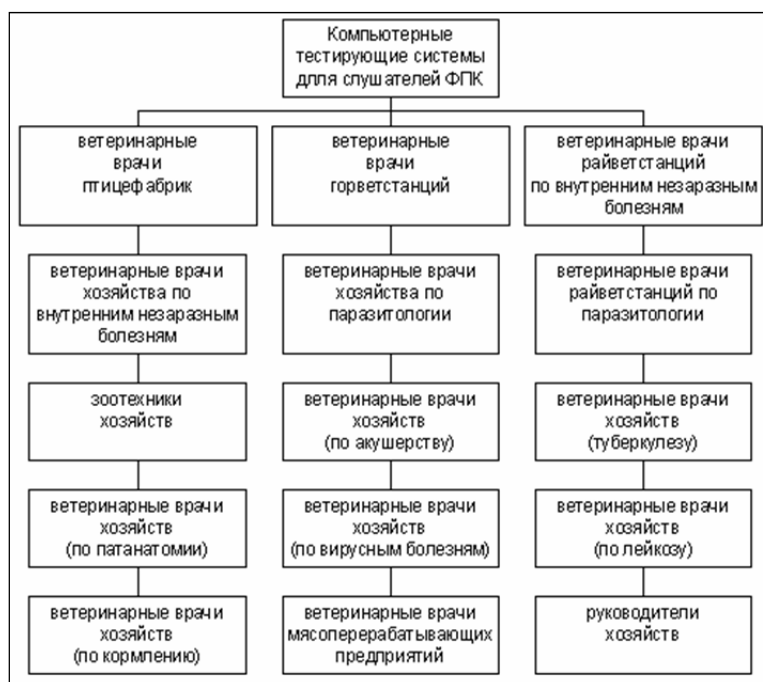


Рис. 4. Тестирующие системы для различных категорий слушателей ФПК и ПК

Интернет технологии, которые могут быть непосредственно использованы в учебном процессе вузов ветеринарной медицины, представлены в специальном сборнике. Указаны электронные адреса, где располагаются образовательные ресурсы и дана краткая аннотация каждого из них. В сборнике отражена лишь незначительная часть информационных ресурсов в действительности имеющих место во всемирной сети [10].

Дистанционное образование в ветеринарной

медицине может быть представлено следующими моделями (апробированы в Витебской академии ветеринарной медицины).

*Модель 1.* Традиционное заочное вузовское образование. Студенту-заочнику определяются сроки прохождения обучения, пересылается по обычной почте учебный план, методические пособия и задания для самостоятельного выполнения; обучающийся самостоятельно выполняет контрольные задания; в конце обучения

сдает экзамен в присутствии преподавателя.

**Модель 2.** Студенту-заочнику высылаются материалы на двух однотипных носителях. На одном диске размещаются: рабочая программа изучаемой дисциплины; тематические планы лекций и лабораторно-практических занятий; сами лекции (электронный вариант); список основной литературы; список дополнительной литературы; вопросы для самостоятельного изучения; вопросы к зачету; контрольная работа.

Второй диск устроен по-другому. При начальном форматировании этого диска ему изначально присваивается имя, совпадающее с фамилией и именем студента. Затем на этот диск копируются следующие материалы: тесты для психодиагностики; таблицы для выполнения контрольной работы; тесты для диагностики полученных знаний. Первый диск остается у студента, в второй диск с результатами тестирования (знаний и психологических особенностей), а также данными по выполнению контрольной работы, высылается по обычной почте

(в конверте) обратно преподавателю на проверку.

Полученный по почте диск вставляется в компьютер, на котором расположена сетевая БД обучаемых. Компьютер автоматически считывает информацию с диска и заносит ее в нужные структуры, ориентируясь на имя диска, совпадающее с именем и фамилией студента. В память машины заносятся не только результаты психологического тестирования, но и результаты тестирования знаний студента, а также результаты выполнения контрольной работы (в памяти ПК расположены три базы данных – одна предназначена для хранения результатов психологического тестирования, другая – результатов выполнения контрольной работы, третья – данных диагностики знаний студента). На рис. 5 приведены данные по количеству студентов, предпочитающих различные модели обучения. Черные столбики диаграммы соответствуют модели 1, светлые – модели 2. Из приведенных данных следует, что количество студентов, обучающихся по этим моделям, составило разные значения.

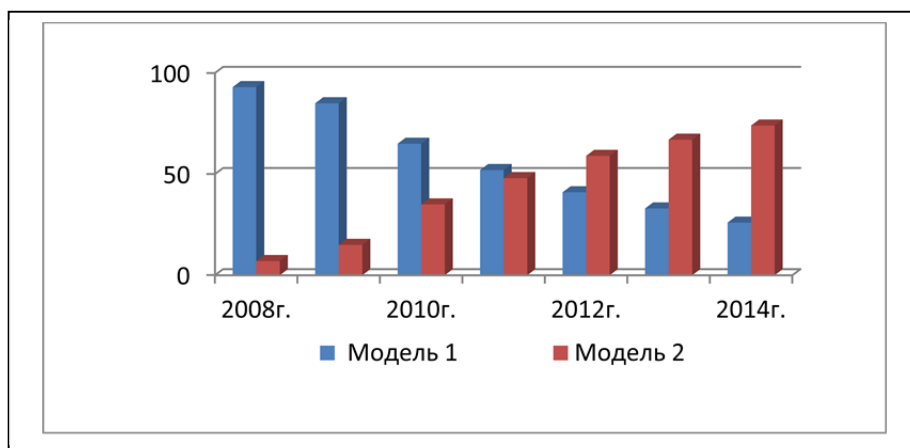


Рис. 5. Количество студентов-заочников, предпочитающих различные модели обучения (модель 1 – черные столбики; модель 2 – светлые столбики)

Так, первая модель обучения в 2008 году была определяющей для студентов-заочников. Ей отдали предпочтение почти 92 % студентов (с моделью 2 были связаны оставшиеся 8% обучающихся). В течение последующих лет картина постепенно изменилась в сторону увеличения числа студентов, предпочитающих вторую модели обучения. Уже в 2010 году их число увеличивается почти вдвое по сравнению с исходным годом, а в 2012 году – почти втрое. К концу 2014 года число студентов, желающих заниматься по второй модели, составило 78% (22% – по первой модели).

**Модель 3.** Дистанционного обучения студентов-заочников совпадает с моделью 2 (повторяется ее содержание). Сущность модели сводится к следующему. Студенту-заочнику также выдаются два диска, как и в модели 2: (с таким же содержимым как и содержимое диска – 1 модели 2): рабочая программа изучаемой дисциплины;

тематические планы лекций; сами лекции (электронный вариант); электронные учебники; список основной литературы; список дополнительной литературы; вопросы для самостоятельного изучения; вопросы к зачету; контрольная работа.

Второй диск повторяет структуру такого же диска для модели 2. На нем находятся тесты для психодиагностики, таблицы для выполнения контрольной работы и тесты для диагностики приобретенных знаний. Оба диска высылаются студенту по обычной почте. Лазерный диск остается у студента на все время обучения, а диск многократного использования с результатами тестирования и выполнения контрольной работы высылается преподавателю. Компьютер преподавателя считывает фамилию, имя и отчество студента, результаты тестирования и выполнения контрольной работы и заносит их в специальную

БД, распределяя информацию по трем описанным выше базам данных.

На рис. 6 приведен количественный состав студентов ВГАВМ, занимающихся по трем

различным моделям в динамике за четыре года, начиная с 2008 г. (модель 1 представлена черными столбиками, модель 2 – светлыми, модель 3 – серыми).

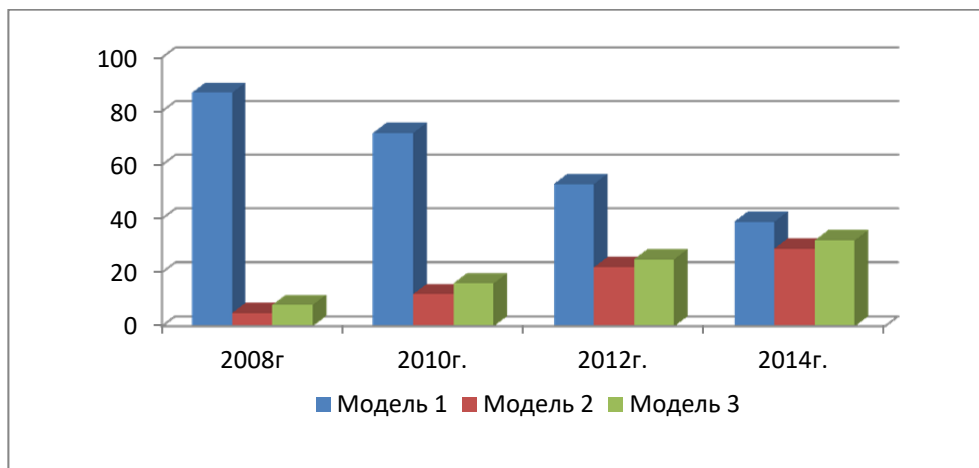


Рис. 6. Количество студентов, предпочитающих различные модели обучения (черные столбики – модель 1, светлые – модель 2, серые – модель 3)

Из приведенных данных следует, что число обучаемых неравномерно распределилось по годам, однако с течением времени эта неравномерность уменьшается и уже в 2014 году контингент обучаемых по трем разным моделям, почти одинаков (40% – модель 1, 28% – модель 2, 32% – модель 3; особо следует подчеркнуть, что в третьей модели обучения число студентов больше, чем во второй).

*Модель 4.* Совпадает с моделью 3, результаты тестирования отправляются студентом по электронной почте. Студенту-заочнику выдаются те же два диска (один лазерный, другой – для многократной записи) с теми же материалами, что и для модели 3 с требованием отсылать свои ответы

на многократном диске не по каналам обычной почты, а по каналам электронной почты. Рис. 7 показывает в динамике результаты этой работы. Приведенные данные свидетельствуют о том, что с годами наметилась устойчивая тенденция роста числа студентов, предпочитающих современные формы дистанционного обучения. Так, малый процент обучающихся был зафиксирован в 2008 году (около 2% для модели 4); с годами это значение увеличилось – в 2009 году оно было уже 5%, в 2010 году – 10%, а к концу 2014 года – все 20%. Устойчивый рост количества обучаемых свидетельствует о возрастании интереса у студентов к новым формам обучения и, в частности, к работе с электронной почтой.

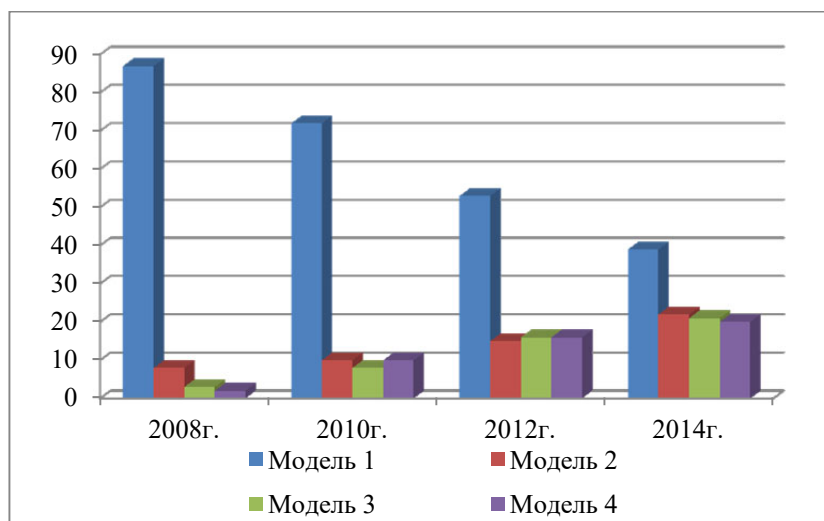


Рис. 7. Число студентов, предпочитающих различные модели дистанционного обучения

*Модель 5.* Электронные учебники, методические пособия, книги, а также системы тестирования располагаются на WEB-страничке; каждый студент имеет свой собственный код и по нему обращается к источникам и тестам. Используемая с целью дистанционного обучения компьютерная программа eLearning 3000 позволяет организовать полный цикл дистанционного обучения на расстоянии, значительно автоматизируя процесс заочного обучения.

Пакет eLearning 3000 состоит из двух основных продуктов – eLearning 3000 Office 3000 и eLearning 3000 Server и предназначен для организации систем дистанционного обучения, использующих как средства Интернет, так и возможности локальных мультимедийных компьютеров. Программа-сервер устанавливается на сервере кафедры компьютерного образования ВГАВМ, доступ к этой программе осуществляется только по паролю и по особому ключу, которые сообщаются каждому обучающемуся студенту. Программный пакет позволяет составить из отдельных учебных материалов дистанционный мультимедийный учебный курс самого современного уровня. Такой курс может включать интерактивные семинары и конференции, систему поиска и навигации, словари и методические пособия. Пакет содержит набор вариантов оформления курса, которые позволяют свести к минимуму временные затраты на создание.

Разработчику предоставляется множество вариантов готовых прототипов учебных курсов, автоматически создаются перекрестные гипертекстовые связи и дистрибутив учебного курса для записи на CD-ROM. Созданные с помощью этого программного пакета учебные курсы могут быть размещены в Интернет на бесплатном сервере учебного центра [www.elearn.ru](http://www.elearn.ru). Используемый программный пакет предназначен в первую очередь для преподавателей высших и средних учебных заведений. Его отличают дружественный интерфейс и максимальная автоматизация работ. В пакет входит три компонента: ePublisher для быстрого создания электронных учебных пособий; eAuthor для разработки дистанционных курсов – учебного материала в мультимедийной форме, систем тестирования, полнотекстовой поисковой системы по материалу учебника и обеспечения связи с WEB-сайтом учебного центра; eBoard для организации и управления лекциями, семинарами, конференциями в Интернет. В качестве основы для мультимедийного учебного пособия используется текст RTF – или PDF – документа.

После выбора одного из шаблонов оформления будущего издания ePublisher автоматически генерирует электронное учебное пособие. При этом

на основе введенной информации будет автоматически формироваться оглавление и список терминов. Далее можно наполнять страницы учебника мультимедийным материалом. С помощью eAuthor можно создать мультимедийный дистанционный учебный курс, включающий в себя три раздела: «Лекции», «Словари» и «Тесты». Лекции могут содержать текст, графику, звук, видео, а также ссылки на внешние документы, файлы и программы. Словарь позволяет расставить гипертекстовые связи между встречающимися в тексте лекций терминами и их определениями автоматически, по правилам, заданным автором курса.

Тесты предназначены для интерактивной самопроверки учащимися своих знаний. Помимо вопросов и предлагаемых типов ответов, могут содержать звуковые фрагменты, видеоролики, графические изображения. При прохождении теста программа фиксирует контрольный лист с результатами ответов. Организация интерактивных семинаров и конференций осуществляется с помощью eBoard. Этот продукт позволяет за одну минуту, не прибегая к программированию, организовать трансляцию в Интернет учебного материала с WEB-камеры, видеомagneфона и даже с экрана компьютера. Это максимально приближает дистанционное обучение к традиционной форме и делает процесс обучения независимым от преподавателя и студентов.

Рассматриваемая модель дистанционного обучения позволяет сопоставить численный состав обучающихся, предпочитающих различные модели обучения (от модели 1 до модели 5 на рис. 8).

Из приведенных данных видно, что количественный состав студентов претерпевал различные изменения с течением времени. Так, если в 2008 году число обучающихся по модели 5 (с использованием Интернета) составляло всего лишь 5%, то уже к 2014 году оно увеличилась почти в 4 раза и составило 20%.

*Модель 6.* Дистанционное обучение по этой модели осуществлялось по каналам ТелеИнтернета. Эксперимент сводился к следующему. Электронные учебники передавались в местный телецентр, снабженный специальной аппаратурой для передачи материалов в эфир. На кафедре компьютерного образования ВГАВМ монтировался компьютер со специальной электронной платой, обеспечивающей уверенный прием телевизионных сигналов. В назначенное время совершалась попытка приема сигналов от телецентра. Сеанс был рассчитан всего на один час. За это время удалось прочитать 8 страниц электронного учебника. Тесты в эксперименте не участвовали.

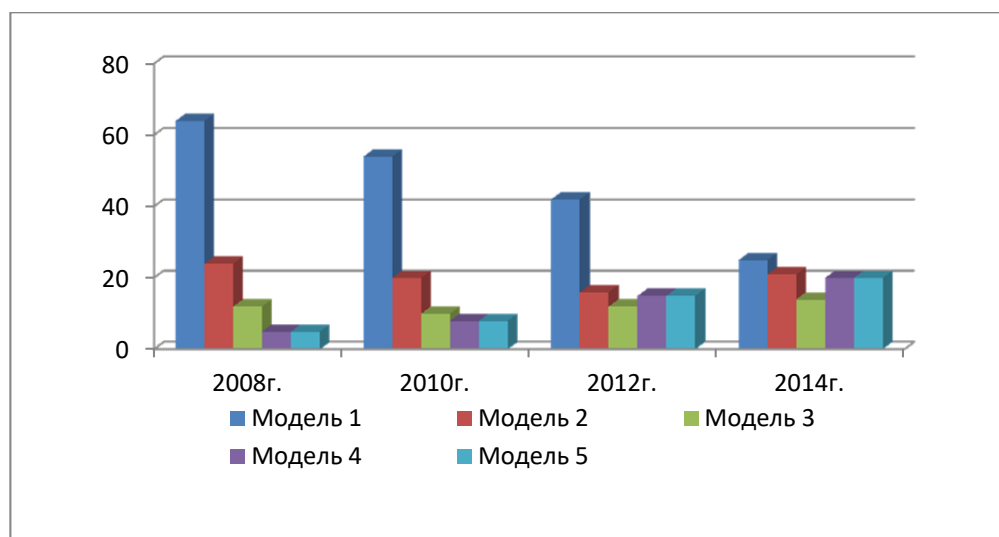


Рис. 8. Количественный состав студентов, предпочитающих различные модели обучения

**Выводы.** Эксперимент позволил выявить ряд недостатков ТелеИнтернета. Прежде всего, это небольшие объемы информации, которые можно посылать в эфир с помощью передающей станции (до 1,5 Мб). Кроме того, обратная связь с телецентром осуществлялась только по телефонной линии. И, наконец, прямого доступа к Интернет так и не было достигнуто.

Процедуры тестирования и обработки тестовых результатов проводятся с помощью современных компьютерных средств. Статистическая обработка результатов тестирования выполняется с помощью специализированных программных продуктов

Тесты предназначены для интерактивной самопроверки учащимися своих знаний. Помимо вопросов и предлагаемых типов ответов, могут содержать звуковые фрагменты, видеоролики, графические изображения. При прохождении теста программа фиксирует контрольный лист с результатами ответов. Что позволяет за одну минуту, не прибегая к программированию, организовать трансляцию в Интернет учебного материала с WEB- камеры, видеомagneтофона и даже с экрана компьютера. Это максимально приближает дистанционное обучение к традиционной форме и делает процесс обучения независимым от преподавателя и студентов.

Информационные технологии обучения и ведения документации являются новой методической системой, позволяющей повышать качество обучения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Рыбанов, А.А. Информатика и информационные технологии в образовании, науке и производстве /А.А. Рыбанов. - М.: Нобель Пресс, 2013. - 995 с.
2. Сборник, научных статей «Информатика и информационные технологии в образовании, науке и производстве» / Сборник научных статей. - М.: Нобель Пресс, 2014. - 105 с.

3. Романычева, Э.Т. Дизайн и реклама. Компьютерные технологии / Э.Т. Романычева. - М.: Книга по требованию, 2002. - 430 с.

4. Борисевич, М. Н. Информационные технологии в ветеринарной медицине / М. Н. Борисевич. – Витебск: ВГАВМ, 2007. – 548 с.

5. Персианов, В.В. Использование Информационных и Коммуникационных технологий в образовании. Учебно-методическое пособие / В.В. Персианов, Т.В. Савкина. - Москва: Машиностроение, 2007. - 176 с.

6. Половко, А.М. Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации / А.М. Половко, П.Н. Бутусов. - М.: БХВ-Петербург, 2004. - 320 с.

7. Романычева, Э.Т. Дизайн и реклама. Компьютерные технологии / Э.Т. Романычева. - М.: Книга по Требованию, 2002. - 430 с.

8. Рыбанов, А.А. Информатика и информационные технологии в образовании, науке и производстве / А.А. Рыбанов. - М.: Нобель Пресс, 2013. - 995 с.

9. Сборник научных статей «Информатика и информационные технологии в образовании, науке и производстве» / Сборник научных статей. - М.: Нобель Пресс, 2014. - 105 с.

10. Борисевич, М.Н. Интернет-ресурсы ветеринарной медицины / М.Н. Борисевич / Под ред. А.И. Ятусевича. – Витебск: ВГАВМ, 2007. – 306 с.

#### Oreshkin M., Oreshkina M., Ermak V., Ermak A. SYSTEMS OF COMPUTER DIAGNOSTICS OF KNOWLEDGE

*The purpose of this work is the formation of a system of test tasks and the use of Internet technologies in the educational process. The practical solution is that the tests are designed for interactive self-testing of students' knowledge.*

**Keywords:** knowledge diagnostics, computer technologies, test tasks.

**Орешкин Михаил Вильевич**, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, академик Российской академии естествознания, профессор кафедры техносферной безопасности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** fid04@yandex.ru

**Oreshkin Mikhail Vilyevich**, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor of the Department of Technosphere Safety, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Орешкина Марина Александровна**, кандидат исторических наук, профессор Российской академии естествознания.

**E-mail:** fid04@yandex.ru.

**Oreshkina Marina Aleksandrovna**, Candidate of Historical Sciences, Professor of the Russian Academy of Natural Sciences.

**Ермак Василий Петрович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры пожарной безопасности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** vermak1@list.ru.

**Ermak Vasily Petrovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Fire Safety Department of SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Ермак Алёна Дмитриевна**, врач-терапевт, соискатель ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** vermak1@list.ru.

**Ermak Alyona Dmitrievna**, internist, applicant of SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Медведев Андрей Юрьевич**, д.с.-х.н., профессор, зав. кафедрой технологии производства и переработки продукции животноводства ГОУ ВО ЛНР ЛГАУ.

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 004+378.4

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ВИДЕО- И АУДИОЛЕКЦИИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ****Орешкин М.В., Орешкина М.А., Ермак А.Д.****COMPUTER VIDEO AND AUDIO LECTURES IN THE EDUCATIONAL PROCESS****Oreshkin M., Oreshkina M., Ermak A.**

*Целью данной работы является изучение внедрения компьютерных аудио- и видеолекций в учебный процесс вуза. Практическое значение состоит в том, что студенты эффективнее усваивают лекционный материал.*

**Ключевые слова:** видеолекции, компьютерные технологии, учебный процесс вуза.

**Введение.** Компьютерные аудио- и видеолекции могут использоваться в любом вузе и быть достаточно эффективными. Например лаборатория информационных технологий кафедры компьютерного образования ВГАВМ уделяет особое внимание развитию компьютерных видео- и аудио-технологий по причине перспективности их использования в целях обучения [1]. Лаборатория ИТ (ЛИТ) разработала и внедрила в учебный процесс технологию производства собственных учебных фильмов для студентов ВГАВМ. ЛИТ ВГАВМ производит также и аудиолекции, создаваемые по оригинальным методикам, которые являются частью виртуально-тренинговой системы ВГАВМ. Компьютерных видео- и аудио- технологии полезны в индивидуальной, групповой и фронтальной формах обучения студентов вузов ветеринарной медицины [3, 4]. Их можно использовать в качестве иллюстративного материала, источника новой учебной информации, способа выдвижения педагогических задач и создания проблемных ситуаций, средства контроля знаний и умений будущих ветеринарных специалистов, а также для самоконтроля и самообразования студентов [2]. Применяются различные типы видеозаписей, используемых в подготовке будущих врачей ветеринарной медицины: 1) полная запись практического занятия без сокращений, купюр и редактирования; 2) уплотненная запись, когда из нее убираются моменты, не несущие полезной, значимой информации, в результате чего запись оказывается сжатой до 15-20 мин, воспроизводя лишь самую суть занятия; 3) демонстрационная запись с целью показа отдельных методов лечения животных, приемов и способов оказания им первой необходимой помощи; 4) тематические архивы, содержащие видеоматериалы по определенной проблеме, связанные дикторским текстом или разрозненные: они полезны для самостоятельной работы студентов, а также используются в качестве источника видеоматериалов при подготовке учебных

видеозаписей к определенной теме; 5) воспроизведение проблемных ситуаций, разрешение которых требует от студентов применения теоретических знаний и практических умений (продолжительность не более 5-7 мин); 6) моделирующие записи (4-5 мин) с показом отдельных приемов лечения животных (например, постановка проблемных вопросов или решение познавательных задач); 7) видеолекции игрового характера, которые создаются на основе сюжетных сценариев по образцу художественно-документальных фильмов; 8) записи выступлений ученых, ведущих ветеринарных специалистов и творчески работающих врачей ветеринарной медицины по различным вопросам [5, 6].

Перспективен вариант видеолекции, раскрывающей какой-либо конкретный вопрос, проблему, один аспект или факт. Эта форма близка по своим решениям к учебным передачам телевидения, но далеко не всегда позволяет в полной мере реализовать потенциальные дидактические возможности учебных видеозаписей [7].

**Цель работы.** Уместно выделить некоторые формы использования учебных видеолекций в качестве средства контроля знаний и умений студентов. Например, включается уплотненная запись лекции, перед демонстрацией которой будущие врачи ветеринарной медицины получают контрольные задания и вопросы (они могут быть сформулированы в титрах перед основным содержанием видеозаписи либо преподавателем в процессе демонстрации). Возможны различные варианты. Будущие врачи ветеринарной медицины выполняют задания и отвечают на вопросы, проанализировав содержание учебной видеозаписи. Применение видеолекций опирается на способность оператора фиксировать и немедленно воспроизводить аудио- и видеoinформацию. Обработка отдельных приемов педагогической техники, разнообразных тренингов с включением учебной видеозаписи помогает будущим врачам ветеринарной медицины анализировать свои действия и оценивать их.

Вышеперечисленные требования не представляют проблем для современных компьютеров. Для обработки относительно длинных видеофильмов необходимо установить на компьютер дополнительный жесткий диск. Для полного

цифрового качества видео требуется примерно 2,2 Гб на 10 минут воспроизведения.

Программное обеспечение ориентировано исключительно на нелинейный монтаж. Запись на жесткий диск может вестись с полным разрешением или как сильно сжатая предварительная версия (в последнем случае на 10 минут воспроизведения требуется около 25Мб). После монтажа использованные сцены можно заново включить в материал с полным разрешением.

Все основные функции программного обеспечения монтажа включаются и выключаются на камкордере через разъем Firewire. Программное обеспечение Studio-DV полностью совместимо с камкордерами фирм Sony и Panasonic. Помехи на изображении возникали только при применении камкордера типа DVL9600 фирмы JVC, что является следствием недостаточно строгой стандартизации разъема Firewire.

Монтаж с помощью платы Studio - DV можно выполнять, располагая и просматривая материал или по способу Timeline или по способу Storyboard. Оформление и корректировку сцен на мониторе удобно производить с помощью компьютерной мыши. Функция Instant Preview («немедленный просмотр») позволяет в любой момент контролировать смонтированный фильм на мониторе компьютера.

Программа может создавать готовый фильм в формате AVI, причем в распоряжении монтажера имеются на выбор все установленные в компьютер кодеки. Эта функция предназначена для воспроизведения готового фильма с жесткого диска или для целей мультимедиа. Можно сохранить фильмы и в виде формата MPEG-1. Для пересылки по электронной почте в виде видеоклипа и публикации в Интернете в виде Streaming-Video (видеопотока) имеется еще формат передачи RealVideo.

**Результаты исследований.** Компьютерные видео- и аудио-системы используются для создания собственных видео- и аудио-лекций, а также видео-фильмов. Для упорядочения работы с этими продуктами, а также обеспечения их архивного хранения в лаборатории информационных технологий разработана и создана специальная компьютерная программа. Она написана на языке объектно-ориентированного программирования DELPHI и занимает в памяти компьютера сравнительно небольшой объем. Вид диалогового окна программы для хранения видео-лекций собственного производства показан на рис. 1.

Программная оболочка может включать в себя неограниченное число видео-лекций. Она проста и удобна в управлении. На рис.2 приведено диалоговое окно программы, обеспечивающей архивное хранение и демонстрацию компьютерных видео-фильмов собственного производства. Фрагмент программы по хранению аудио-лекций собственного производства приведен на рис. 3.

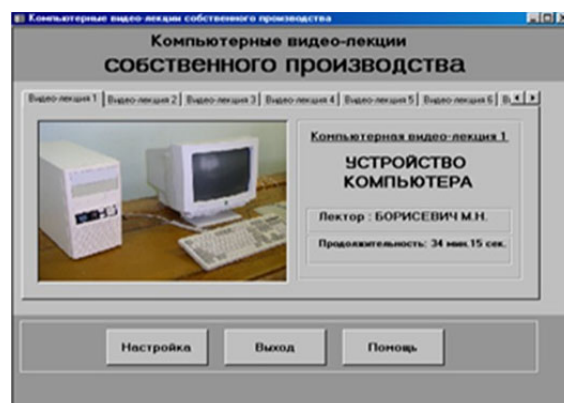


Рис. 1. Диалоговое окно программы по хранению компьютерных видео-лекций собственного производства

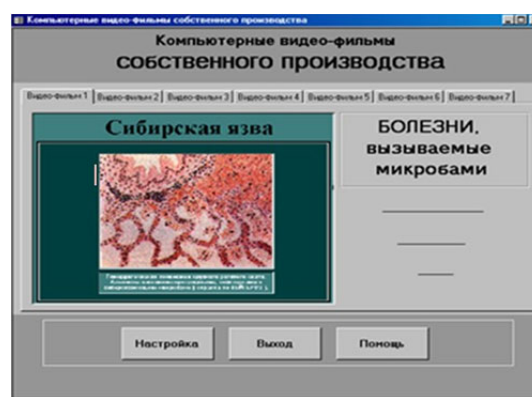


Рис. 2. Диалоговое окно программы для хранения и демонстрации видео-фильмов собственного производства

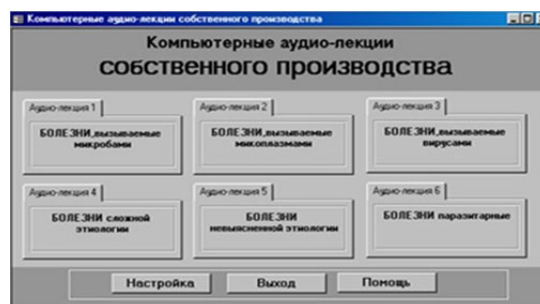


Рис. 3. Программа по архивному хранению и прослушиванию аудио-лекций

*ИТ на лабораторно-практических занятиях.* Структура компьютерных обучающих систем. Компьютерные обучающие системы представляют собой интегрированную программную оболочку, объединяющую в себе сразу несколько разработок одновременно. Цель создания систем такого типа – интерактивно-порционная подача учебного материала на экране компьютерного монитора (обучающийся самостоятельно может пользоваться программой, используя собственные навыки работы с ПЭВМ).

Разработки этого типа занимают большие объемы и могут располагаться не на одном, а на нескольких лазерных дисках (либо на ЖМД очень больших размеров). Диалоговое окно компьютерных обучающих систем приведено на рис. 4.

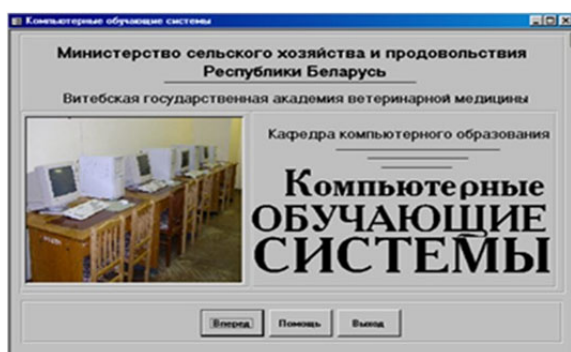


Рис. 4. Интегрированная оболочка «Компьютерные обучающие системы»

Программа способна работать в трех режимах: продвижение вперед (переход к новому диалоговому окну, обучающийся выходит на второй экран программы), режим помощи (содержит интерактивные сведения о функциональных возможностях программы, в том числе и поисковый сервис автоматического перехода на нужный термин или неясную сервисную функцию) и режим выхода из оболочки (возвращения в среду операционной системы).

Второй экран компьютерной программы приведен на рис. 5. В развернутом виде он представляет собой структуру обучающей системы в целом. Система включает в себя несколько учебных компонентов и условно может быть разделена на три секции: компьютерные обучающие программы, электронные учебники и компьютерные лекции. Каждая из секций имеет свою собственную внутреннюю структуру.

Перспективные подходы к разработке. В настоящее время видятся следующие перспективные подходы в разработке компьютерных обучающих систем (КОС) для нужд ветеринарной медицины:

1. *Подход 1.* Пользователь на основе имеющихся баз данных и знаний создает необходимые ему учебные задания, исходя из актуальных задач; базы данных должны обладать определенной степенью избыточности и разнообразием, чтобы обеспечивать учебный процесс на основе индивидуальных потребностей пользователя.

2. *Подход 2.* Создаются актуальные задания по результатам предварительной диагностики деятельностных характеристик обучающегося; разработка такого программного обеспечения требует серьезной психолого-педагогической подготовки, обеспечения и сопровождения.

3. *Подход 3.* Создаются такие поисковые системы, которые бы позволяли устанавливать не просто формальные, но и смысловые связи между отдельными фрагментами информации; при этом программа, опираясь на тот или иной запрос пользователя, сама, по определенным алгоритмам будет находить то, что является актуальным для пользователя, хотя сам он этого может в полной мере и не осознавать; разработка подобных продуктов

требует решения многих практических задач, прежде всего наличия специально структурированных баз данных и знаний, систем поиска и отбора информации, основанных на разработках в области искусственного интеллекта.

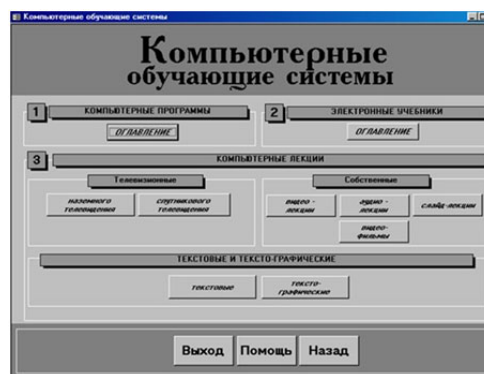


Рис. 5. Второй экран программы «Компьютерные обучающие системы»

4. *Подход 4.* Позволяет сформировать у обучающихся навыки опровержения и/или доказательства определенных суждений, создавать темы размышлений и высказываний, изобретать тексты о различных явлениях (группах явлений, процессах (группах процессов), понятиях (группах понятий) и т.п.

5. *Подход 5.* По мере продвижения обучающегося в поле знаний программа делает заключения о характере его умственных действий, способностях, наличных знаниях и опыте и т. п. и предлагают ему рекомендации и/или ставит перед необходимостью совершения конкретных практических или мыслительных действий, актуальных для решения тех или иных образовательных задач, не только обучающихся, но и воспитывающих; программы такого типа позволяют напрямую обращаться к личному опыту обучающегося.

6. *Подход 6.* Образовательные компьютерные программы могут использоваться и для развития психической сферы студентов: психологической поддержки, коррекции и даже психотерапии. Использование подобного программного обеспечения призвано решать несколько задач: снятие личностных психологических проблем студентов; развитие тех или иных их способностей; осуществление контроля и дозирования развития тех или иных психических процессов и функций.

7. *Психологические тренажеры и стимуляторы* Призваны осуществлять развитие тех или иных психических процессов, например широты поля зрения, цветовосприятия, звукоразличения, глазомера, внимания, анализа и синтеза и т.п.

8. *Программы эстетического творчества* К ним могут быть отнесены учебные и стандартные графические и музыкальные редакторы, учебные мультипликационные студии; наиболее целесообразно использовать такие программы в организации интегрированного обучения; в процессе подобной

деятельности им приходится одновременно решать множество прикладных задач из разных областей знаний.

Критерии разработки. При разработке КОС представляется целесообразным руководствоваться следующими критериями:

1. КОС должно охватывать программу официального курса обучения и предоставлять обучающимся возможность работать с ним по сценариям, приближенным к обычному традиционному обучению.

2. КОС может использоваться для организации обучения как систематического, так и эпизодического.

3. КОС должна совмещать в себе обучающую, контролирующую и поисковую функции.

4. КОС должно использоваться на аудиторных, внеаудиторных занятиях и при самостоятельной работе (самообразование).

5. КОС должно существенно превосходить по объему содержание официальных учебников, чтобы удовлетворять более широким познавательным потребностям пользователей.

6. КОС должно содержать описание одного и того же учебного материала либо на нескольких разных уровнях, либо разными способами (многоуровневое и многокомпонентное знание).

7. КОС может настраиваться по желанию преподавателя или студента сообразно актуальным задачам обучения или самообразования.

8. КОС должно сопровождаться методической литературой, ориентированной на профессиональных педагогов и обучающихся, занимающихся самостоятельной работой.

9. Дидактическое наполнение КОС может использоваться в некомпьютерной форме обучения, для чего программа должна снабжаться системой печати.

10. Программа должна вести учет работы каждого студента и давать рекомендации по оптимальной организации его работы в той или иной области знаний.

11. КОС, которая используется в условиях массового обучения, должна иметь программные модули, предназначенные для сбора и обработки необходимой информации руководством учебных заведений и специалистами системы управления агрообразованием.

Системы ведения электронного журнала дублируют имеющийся в распоряжении преподавателя обычный журнал на бумажном носителе. Электронный журнал хранится в памяти компьютера и заполняется преподавателем средствами компьютерной техники. Внесенные в него изменения автоматически сохраняются в БД. При этом внесение изменений в прошедшую и будущие даты не допускаются, преподаватель может работать лишь с текущей записью. В электронном журнале приняты те же обозначения, что и в журнале бумажном. Титульный лист электронного журнала показан на рис. 6. Для управления функциональными возможностями

журнала предназначены три кнопки: одна ответственна за переход программы к следующему экрану – кнопка ВПЕРЕД, другая – за вызов на экран компьютера справочной системы – кнопка ПОМОЩЬ и третья – за выход из электронного режима в среду операционной системы – кнопка ВЫХОД.

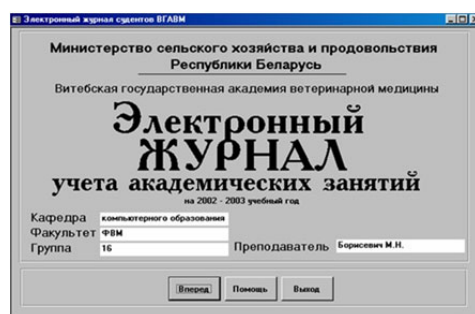


Рис. 6. Титульный лист электронного журнала учета академических занятий

Предусмотрены два режима работы журнала: режим учета проводимости занятий со студентами и режим учета посещаемости занятий студентами.

Первый режим предусматривает заполнение следующих граф электронной таблицы (рис. 7): число и месяц (проведения занятий), вид занятия (практическое, лабораторное или лекционное), содержание занятия (указывается тема занятия, ее можно вводить как в развернутом, так и сокращенном вариантах), пометки преподавателя (вводится количество отведенных на тему часов либо замечания преподавателя по ходу занятия). Количество записей таблицы не ограничено (на рис.8 показаны лишь некоторые из них). Возможен переход к другим записям таблицы, а также их удаление, редактирование записей не допускается.

Режим учета посещаемости студентов также представляет собой электронную таблицу, состоящую из нескольких граф (рис. 8). Первая графа определяет порядковый номер записи, вторая – фамилию, имя и отчество студента. Особое место отводится календарным графам – они содержат оценки и пометки преподавателя о присутствии или отсутствии студента на занятиях. Введенные данные сохраняются компьютером автоматически, дополнительных действий преподавателя не требуется.

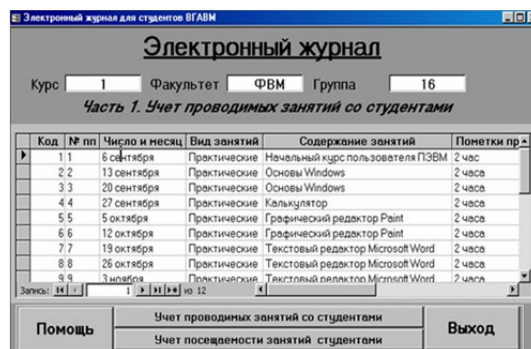


Рис.7. Режим работы электронного журнала «Учет проводимых занятий со студентами»

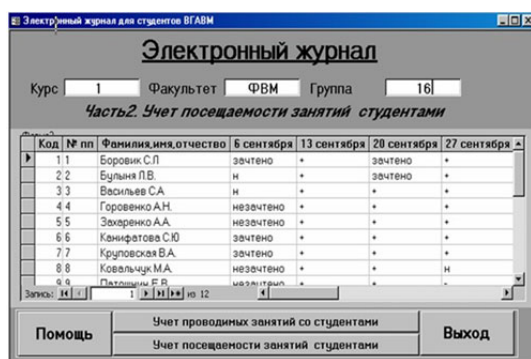


Рис.8. Режим работы электронного журнала «Учет посещаемости занятий студентами»

При повторном их вызове на экран монитора все предыдущие записи таблицы оказываются недоступными для преподавателя, редактировать можно только текущую запись.

**Выводы.** Электронный журнал обладает определенным количеством сервисных функций, которые чрезвычайно облегчают работу преподавателя: автоматический поиск студента по фамилии, имени и отчеству с выдачей на экран монитора (и на печать) всех данных, связанных с этой фамилией за все даты проведения занятий; выдача на экран (и на печать) фамилий студентов, занимающихся на отлично, хорошо, удовлетворительно и неудовлетворительно с автоматическим подсчетом суммарного количества обучающихся; вывод на экран и распечатка фамилий студентов (с результатами обучения) за определенную дату, либо за определенный промежуток дат; количество пропусков на определенную дату (либо за определенный промежуток дат) для студента с заданной фамилией; суммарное количество положительных, удовлетворительных и неудовлетворительных оценок по дисциплине; по завершении обучения компьютерная формулировка на экране – допущен или не допущен к экзамену.

Информационные технологии обучения и ведения документации являются новой методической системой, позволяющей повышать качество обучения.

### Л и т е р а т у р а

1. Борисевич, М. Н. Информационные технологии в ветеринарной медицине / М. Н. Борисевич. – Витебск: ВГАВМ, 2007. – 548 с.
2. Борисевич, М. Н. Дистанционное образование в ветеринарной медицине / М. Н. Борисевич // Ученые записки учреждения образования "Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины": научно-практический журнал. - Витебск, 2003. - Т. 39, ч. 1. - С. 175-176.
3. Борисевич, М. Н. Принципы построения информационной сети в ветеринарии / М. Н. Борисевич // Ученые записки учреждения образования "Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной

медицины": научно-практический журнал. - Витебск, 2004. - Т. 40, ч. 2. - С. 227-228.

4. Романычева, Э.Т. Дизайн и реклама. Компьютерные технологии / Э.Т. Романычева. - М.: Книга по требованию, 2002. - 430 с.

5. Рыбанов, А.А. Информатика и информационные технологии в образовании, науке и производстве / А.А. Рыбанов. - М.: Нобель Пресс, 2013. - 995 с.

6. Сборник, научных статей «Информатика и информационные технологии в образовании, науке и производстве» / Сборник научных статей. - М.: Нобель Пресс, 2014. - 105 с.

7. Фадеев, С.В. Англо-русский словарь сокращений по компьютерным технологиям (компьютеры, программы, мультимедиа, Интернет): 5435 сокращений / С.В. Фадеев. - М.: РУССО, 2000. - 328 с.

**Oreshkin M., Oreshkina M., Ermak A.**

### COMPUTER VIDEO AND AUDIO LECTURES IN THE EDUCATIONAL PROCESS

*The purpose of this work is to study the introduction of computer audio and video lectures in the educational process of the university. The practical significance is that students learn the lecture material more effectively.*

**Keywords:** video lectures, computer technologies, educational process of the university.

**Орешкин Михаил Вильевич,** доктор

сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, академик Российской академии естествознания, профессор кафедры техносферной безопасности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля».

**E-mail:** fid04@yandex.ru.

**Oreshkin Mikhail Vilyevich,** Doctor of Agricultural

Sciences, Senior Researcher, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor of the Department of Technosphere Safety, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Орешкина Марина Александровна,** кандидат

исторических наук, профессор Российской академии естествознания.

**E-mail:** fid04@yandex.ru.

**Oreshkina Marina Aleksandrovna,** Candidate of

Historical Sciences, Professor of the Russian Academy of Natural Sciences.

**Ермак Алёна Дмитриевна,** врач-терапевт, соискатель

ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля».

**E-mail:** vermak1@list.ru.

**Ermak Alyona Dmitrievna,** internist, applicant of SEE HT

LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Медведев Андрей Юрьевич,** д.с.-х.н., проф., зав. кафедрой технологии производства и переработки продукции животноводства ГОУ ВО ЛНР ЛГАУ.

Статья подана 15.05.2022

УДК 004+378.4+101.1

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ И ИНТЕРНЕТ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА

Орешкин М.В., Орешкина М.А., Ермак В.П.

### THE USE OF COMPUTER AND INTERNET TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE UNIVERSITY

Oreshkin M., Oreshkina M., Ermak V.

*Целью данной работы является изучение алгоритмов внедрения электронных технологий в образовательный процесс высшего учебного заведения. Практический выход состоит в том, что студенты эффективнее используют возможности обучения и лучше усваивают новый материал.*

**Ключевые слова:** компьютерные технологии, интернет технологии, учебный процесс.

**Введение.** Применение в образовании информационных технологий оказывает существенное влияние на содержание, методы и организацию учебного процесса по различным дисциплинам [1], что мы и раскрываем на примере Витебской государственной академии ветеринарной медицины. В конце 90-х годов в образование входят не только мультимедийные компьютеры, но и такие программные продукты, как компьютерные энциклопедии, электронные книги, справочники по литературе, живописи, музыке [2]. Это создает новые возможности образования. С развитием мультимедийных технологий компьютер становится средством обучения, способным наглядно представлять самую различную информацию [3]. Следовательно, происходит развитие творческого потенциала обучаемого, способностей к коммуникативным действиям, навыков экспериментально-исследовательской работы; культуры учебной деятельности; интенсификация учебно-воспитательного процесса, повышение его эффективности и качества [4, 5].

Целью работы в методологическом плане является разработка и использование компьютерных средств поддержки профессиональной подготовки врача ветеринарной медицины, которая ранее развивалась по двум направлениям, слабо связанным между собой.

Первое направление опирается в своей основе на идеи программированного обучения. В его рамках разрабатываются и эксплуатируются автоматизированные обучающие системы (АОС) по различным учебным дисциплинам. Ядром АОС являются так называемые авторские системы, позволяющие преподавателю-разработчику вводить свой учебный материал в базу данных и

программировать с помощью специальных авторских языков или других средств алгоритмы его изучения.

Второе направление компьютерной поддержки профессиональной подготовки врача ветеринарной медицины является вторичным приложением компьютеризации его различных отраслей деятельности. Это отдельные программы, пакеты программ, элементы автоматизированных систем, предназначенные для автоматизации трудоемких расчетов, оптимизации, исследования свойств биологических объектов и процессов на математических моделях и т.п. С начала 80-х г. интенсивно развивается новое направление в компьютеризации ветеринарного обучения – интеллектуальные обучающие системы (ИОС), основанные на работах в области искусственного интеллекта.

«Персональная революция» 80-х принесла в сферу ветеринарного обучения не только новые технические, но и дидактические возможности. Это доступность ПК, простота диалогового общения и, конечно же, графика. Применение графических иллюстраций в учебных компьютерных системах позволяет не только увеличить скорость передачи информации обучаемому и повысить уровень ее понимания, но и способствует развитию таких возможных для специалиста любой отрасли качества, как интуиция, профессиональное «чутье», образное мышление. Компьютер, снабженный техническими средствами мультимедиа, позволяет использовать дидактические возможности видео- и аудиоинформации. С помощью систем гипертекста можно создавать перекрестные ссылки в текстовых массивах, что облегчает поиск нужной информации по ключевым словам. Системы гипермедиа позволяют связать друг с другом не только фрагменты текста, но и графику, оцифрованную речь, звукозаписи, фотографии, мультфильмы, видеоклипы и т.п.

Использование таких систем позволяет создавать и широко тиражировать на лазерных компакт-дисках «электронные» руководства, справочники, книги, энциклопедии.

Развитие информационных телекоммуникационных сетей дает новый импульс системам дистанционного обучения, обеспечивает

доступ к гигантским объемам информации, хранящимся в различных уголках нашей планеты. Новые аппаратные и программные средства, наращивающие возможности компьютера, переход в разряд анахронизма понимания его роли как вычислителя постепенно ведут к вытеснению термина «компьютерные технологии» термином «информационные технологии». Под этим термином понимают процессы накопления, обработки, представления и использования информации с помощью электронных средств.

Впечатляющий прогресс в развитии аппаратных и инструментальных программных средств предоставляет хорошие технические возможности для реализации различных дидактических идей. Однако многие из них по своим дидактическим характеристикам нельзя назвать даже удовлетворительными.

**Цель работы.** Локальная вычислительная сеть электронных учебников представляет собой систему распределенной обработки информации, состоящую из нескольких компьютеров, взаимодействующих между собой посредством физических каналов связи. Последние обеспечивают скоростную передачу данных между ее отдельными станциями. Компьютеры, входящие в состав сети, выполняют широкий круг функций, основными из которых являются: организация доступа к сети; управление передачей информации; представление вычислительных ресурсов и услуг абонентам сети. В компьютерном классе используется сеть Ethernet со скоростью передачи данных 10 Мбит/сек. Она характеризуется низкой стоимостью, простотой наладки и несложностью эксплуатации. Для данного типа сетей существует большой набор стандартных программных и аппаратных средств. Используется следующая спецификация передающей среды – 10 BASE2 (тонкий коаксиальный кабель с диаметром центрального провода 0,89 мм).

Современный Интернет с технической точки зрения представляет собой комплекс средств хранения, обработки и представления информации. Основными составляющими этого комплекса являются: информационные ресурсы (мощные серверы, оборудованные высокоскоростными устройствами хранения данных, а также высокоскоростные системы поиска необходимой информации); коммуникационные ресурсы, обеспечивающие объединение разнородных сетей в единую систему и предоставляющие средства быстрой передачи данных; системы доступа к ресурсам сервис-провайдера, а через него – к информационным ресурсам всей сети, независимо от места расположения источника информации. Проводные коммуникационные средства связи с Интернетом обеспечивают скорость передачи данных не выше 54 или 64 кбит/сек (аналоговая телефонная связь или ISDN-линия). В этом отношении связь с Интернетом через спутник обладает рядом преимуществ. Прежде всего следует отметить, что спутниковые сигналы принимаются практически в

каждой точке земного шара. Поэтому доступ к спутниковому сервису прост.

Одной из основных современных тенденций в ветеринарном образовании является интенсификация учебного процесса. В течение одной лекции студенту необходимо усваивать все большее количество информационного материала. Лучшему усвоению могло бы способствовать широкое использование в лекционной работе различных демонстраций.

**Результаты исследования.** Современная компьютерная техника обеспечивает для этого широкие возможности. Хранение, систематизация, подготовка новых материалов, хранящихся в цифровом виде на компьютерных носителях, не очень сложная задача. Надежность и унификация современной компьютерной техники значительно выше, чем традиционного лекционного оборудования. Компьютеризация демонстрационной поддержки лекторской работы и перевод демонстрационных материалов на цифровые носители (включая видеофильмы, требующие информационных носителей большой емкости) могут обеспечить эффективное управление в ходе лекции большим количеством разнородного лекционного материала.

Лекционная мультимедиа аудитория является комплексом аппаратных и программных средств и предназначена для учебного и эффективного управления лекционным демонстрационным материалом в процессе чтения лекции. Комплекс обеспечивает возможность проведения широкого набора лекционных демонстраций:

- показ видеофрагментов и видеофильмов с видеоматрицы типа VHS в стандартах PAL и SECAM;
- демонстрацию графических изображений и анимационных фильмов, подготовленных в любых стандартах на компьютере (с запрограммированными элементами анимации);
- запуск моделирующих программ и других задач, работающих под управлением DOS и WINDOWS.

Демонстрация готовится лектором. Ее подготовка состоит в выборе необходимых для лекции материалов, имеющихся в мультимедиа продукте и включении их в сценарий лекции.

Проводится в двух режимах: автоматическом и ручном. При автоматическом режиме происходит последовательный запуск демонстраций в соответствии с заранее подготовленным сценарием лекции. Ручной режим является существенно интерактивным, в нем возможен запуск любой демонстрации, включенной в сценарий, вне зависимости от местоположения в сценарии. Аппаратный состав комплекса ЛМА включает серийную вычислительную и видеовоспроизводящую аппаратуру, а также нестандартные средства, разработанные на кафедре компьютерного образования. Лекционная мультимедиа-аудитория работает со специально организованными демонстрационными материалами – мультимедиа

продуктами. Организация мультимедиа продукта в комплексе ЛМА включает его каталогизацию и подготовку сценариев. Каталогизация мультимедиа продукта состоит в организации базы данных мультимедиа информации, в которую заносятся сведения об имени демонстрационного материала, его типе и местоположении на носителях информации. Лектор имеет возможность включить в мультимедиа продукт собственные материалы.

Мультимедиа продукт содержит большой объем материалов, объединенных одной тематикой, как правило избыточный для каждой конкретной лекции. Выбор демонстраций для определенной лекции, а также приоритетный порядок их воспроизведения определяются сценарием. Предполагается, что в состав мультимедиа продукта входит ряд лекционных сценариев по различным темам курса, ориентированных на различный по подготовке и профессиональной ориентации круг слушателей. Лектор имеет возможность модифицировать сценарий либо создать новый.

В процессе лекции преподаватель работает с выбранным сценарием при помощи интерфейса лектора. Интерфейс прост в работе и обеспечивает лектору эффективное управление демонстрационным материалом.

Программное обеспечение комплекса ЛМА. Программное обеспечение комплекса представляет из себя полный набор средств создания, модификации и воспроизведения мультимедиа продуктов, предназначенных для сопровождения лекционных курсов. Интерфейс программ комплекса выполнен в соответствии со стандартом CUA проекта SAA (IBM) на пользовательские многооконные интерфейсы. Программы выполнены в системе программирования DELPHI с использованием стандартной библиотеки DELPHI Vision.

Опыт использования. В ходе выполнения работы по созданию лекционной мультимедиа аудитории был создано несколько мультимедиа продуктов, включающих в себя видеосюжеты, компьютерные моделирующие программы и анимационные сюжеты. Используемые в них моделирующие компьютерные программы предоставляют лектору возможность задания варьируемых параметров и отображения результатов на мониторе, а также работы с манипулятором «мышь». Кроме того, в программах предусмотрен автоматический режим, позволяющий реализовывать режим работы слайд-шоу.

Несколько анимационных сюжетов создано и по ветеринарной медицине «Грыжа у свиней», «Технология выращивания крольчат-бройлеров» и др. В продукты включены различные моделирующие задачи.

В течение 1991-2015 г.г. мультимедиа продукты используются в лекционной работе со студентами всех курсов Витебской государственной академии ветеринарной медицины (на факультете ветеринарной медицины). В процессе лекторской работы подтверждена полезность использования в лекциях

мультимедиа продукта. Наибольшая эффективность достигается при прохождении тем, требующих значительного и разнородного лекционного материала. Опыт показал необходимость создания избыточной базы данных, из которой можно было бы компоновать лекционные материалы по вкусу преподавателя и ожидаемому уровню аудитории.

Кроме того, стало ясно, что, **во-первых**, наиболее эффективная и качественная демонстрация мультимедиа продуктов осуществима при наличии в аудитории большого экрана и, **во-вторых**, при использовании мультимедиа продуктов весьма эффективным средством во многих случаях могут являться параллельные «живые» лекционные демонстрации.

Традиционная вузовская лекция, читаемая в вузе, имеет различные варианты представления при использовании компьютерной техники в качестве инструмента для ее подачи. Практика показала, что в учебном процессе наилучших результатов можно достичь, используя следующие варианты ее исполнения. Первый вариант уместно назвать автономным. В этом случае отпечатанный лекционный материал размещается на экране монитора и может быть прочитан обучающимся в любое удобное для него время; при этом лекционный компьютер автономен и физически не связан с соседними компьютерами учебного класса. Во втором варианте лекционный компьютер связан с соседними компьютерами (поэтому этот вариант лекции уместно назвать сетевым). По дидактическим особенностям этот вариант превосходит предыдущий по нескольким показателям. Главный из них – автоматическое отслеживание действий обучающегося на момент чтения лекции и сохранение зафиксированных данных в таблицах специализированной базы данных.

В обоих вариантах лекция представляет собой обычную совокупность текстовых страниц, набранных в любом текстовом редакторе (с графиками, диаграммами, рисунками, цветными фотографиями, формулами и т.д.). Для реализации вариантов на кафедре компьютерного образования ВГАВМ разработана специальная компьютерная программа. Общий вид ее диалогового окна показан на рис. 1.

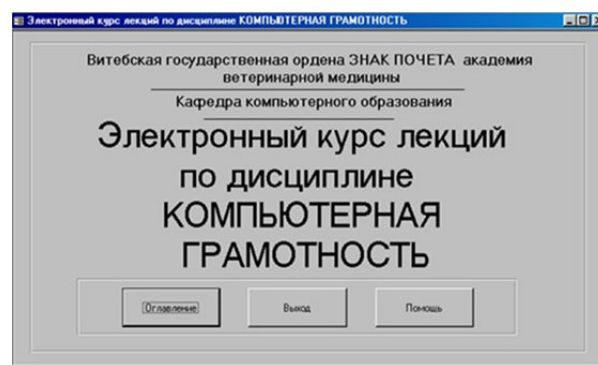


Рис. 1. Вид диалогового окна компьютерной программы «Электронный курс лекций по дисциплине «Компьютерная грамотность» для студентов факультета ветеринарной медицины ВГАВМ

Оглавление электронного курса лекций представлено на рис. 2. Тема лекции и ее план показаны на рис. 3. Чтение лекционного материала достигается стандартными средствами, которые имеются практически на любом компьютере.

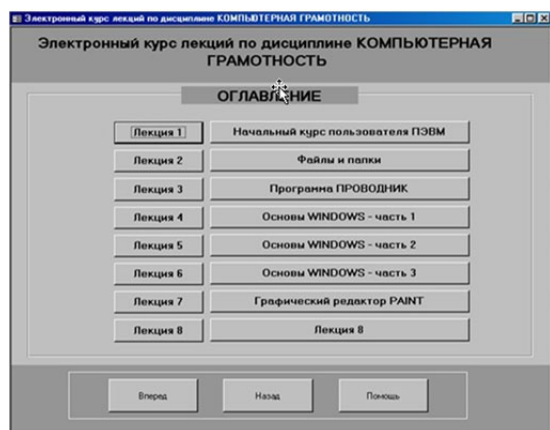


Рис. 2. Оглавление электронного курса лекций

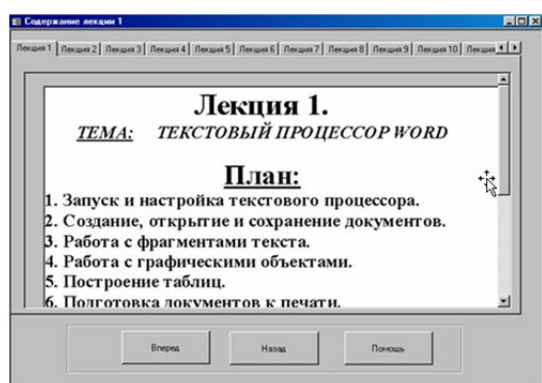


Рис. 3. Тема и план электронной лекции

Сетевой вариант предполагает регистрацию обучающихся и последующее сохранение данных в памяти компьютера. Регистрация включает в себя указание сведений, которые показаны на рис. 4: это курс, группа, фамилия, имя и отчество студента. Введенные данные фиксируются в специальной базе данных.

Там же хранятся и другие сведения, которые компьютер автоматически регистрирует при отслеживании самостоятельной работы студента: дата чтения лекции, ее начало и конец, время, затраченное на чтение всей лекции, скорость чтения страницы (число строк в минуту), средняя скорость чтения всей лекции, число возвратов на первые страницы и переходов на последующие, число пропущенных (непрочитанных) страниц, попытка копирования и распечатки с указанием номера выбранной страницы, время, в течение которого простаивала клавиатура, а также время, затраченное на чтение каждой страницы лекции.

Накопленные в базе данных сведения могут быть распечатаны на принтере либо выведены на экран монитора. Дополнительно программа позволяет отслеживать различные графические зависимости

(линейные и столбиковые диаграммы). Они наглядно контролируют процесс чтения лекции и позволяют формулировать различного рода рекомендации.

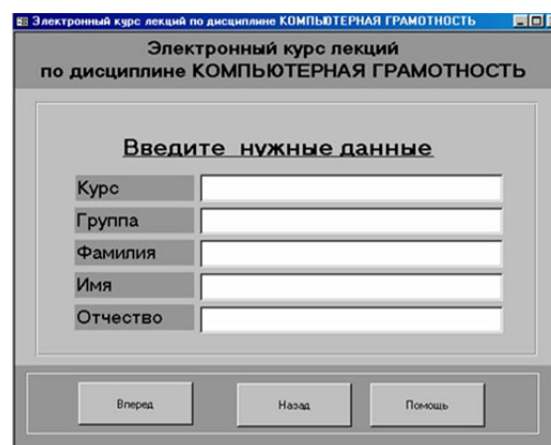


Рис.4. Регистрация обучающегося при работе с сетевым вариантом электронных лекций

Практика показала, что сетевой вариант исполнения вузовской лекции выгодно отличает ее от традиционного аналога (86% студентов высказались в пользу именно сетевого варианта).

Компьютерные слайд-лекции представляют собой организованную последовательность слайдов, связанных между собой логикой чтения лекции. Для их создания используется специальная компьютерная программа – PowerPoint. Она разработана таким образом, что позволяет создавать слайд-лекции в определенном стиле. В программе существуют три способа управления стилем: шаблоны дизайна, цветовые схемы и образцы.

Шаблоны дизайна содержат цветовые схемы, образцы слайдов и заголовков с настраиваемыми форматами и стилизованными шрифтами, придающими слайд-лекции определенный педагогический вид. При использовании шаблона дизайна каждый вновь добавляемый в лекцию слайд оформляется в едином стиле, вне зависимости от авторазметки слайда. Можно использовать либо один из шаблонов дизайна, либо создавать собственный шаблон на основе любой презентационной структуры.

Программа поставляется с широким набором профессионально разработанных шаблонов дизайна. Можно добавлять собственные шаблоны. Если разработан специальный вид одной из презентаций, то можно сохранить его в качестве нового шаблона. Презентация, сохраненная как шаблон, может содержать настраиваемый образец заметок или образец выдач. Цветовая схема состоит из восьми сбалансированных цветов, используемых в качестве основных цветов презентации – текста, фона, заливки, акцентов и т.д. Каждый цвет схемы используется автоматически для различных элементов слайда. Можно зафиксировать цветовую схему для отдельных слайдов или всей презентации целиком. При применении шаблонов дизайна можно выбрать цветовую схему из набора схем, хранящихся в каждом

шаблоне дизайна. Это облегчает подбор цветовых схем для слайда или презентации, гарантируя цветовую совместимость с другими слайдами презентации.

Образец слайдов определяет формат и расположение заголовков и текста, размещаемых на слайде. Образец заголовков задает формат и расположение заголовков на титульном слайде презентации или на любом другом слайде, объявленном титульным (например, слайды, открывающие новый раздел). В каждом шаблоне дизайна хранятся собственные образцы слайдов и заголовков. В свою очередь, образцы хранят элементы фона, например, графику, которые будут отображаться на каждом слайде презентации, если только он не был изменен индивидуально. В программе предусмотрено применение звука, музыки, кино, анимации и иных компьютерных эффектов. От этого демонстрация становится богаче и выразительнее.

Опыт использования. Практика показала, что используемые в учебном процессе компьютерные слайд-лекции пользуются огромной популярностью у студентов. Они способствуют значительному повышению интереса к изучаемой дисциплине (почти 94 % респондентов высказались положительно о них). Основные моменты, выделенные учебной аудиторией: слайд-лекции чрезвычайно красочны, увлекательны; излагаемый в них материал понятен, доступен и практически не требует дополнительных пояснений; особо отмечается, что лекции такого типа очень удобны в конспектировании – для этого почти не требуется комментариев преподавателя. Для создания автоматизированного хранилища слайд-лекций создана специальная компьютерная программа. Общий вид ее главного экрана приведен на рис. 5.

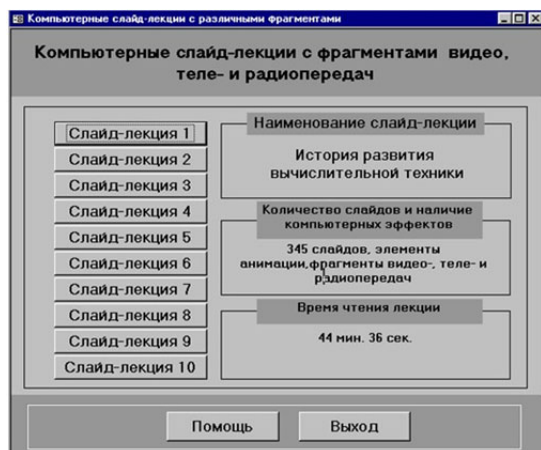


Рис. 5. Вид главного окна программы для просмотра компьютерных слайд-лекций

Компьютерные слайд-лекции читались также ветеринарным специалистам при изучении ими основ компьютерной грамотности. Почти 89 процентов обучающихся отметили положительный эффект от их просмотра и только 11 процентов специалистов со стажем посчитали слайд-лекции достаточно сложными

для понимания. Этой же категорией ветработников было отмечено, что слайд-лекции могут иметь более значительный эффект, если будет присутствовать помощь преподавателя.

**Выводы.** Существуют различные возможности использования компьютеров в вузе:

Организация учебного процесса (подготовка расписания, электронных документов, баз данных по студентам). Подготовка учебных пособий. Обучение пользователей ПК для решения прикладных задач, обучения основам программирования, дизайна, компьютерному моделированию. Компьютерное обучение основам наук с помощью специально разработанных программ. Компьютерный контроль знаний учащихся. Контролирующие программы совмещаются с обучающими. Использование компьютера для получения и работы с информацией из сети Интернет. Преподаватель в информационном обществе перестает выступать перед своими учениками в качестве источника первичной информации. Он превращается в посредника, который облегчает ее получение. Информационные технологии обучения являются новой методической системой, позволяющей рассматривать студентов не как объект, а как субъект обучения, а компьютер – как средство обучения.

#### Л и т е р а т у р а

1. XI Международная конференция-выставка «Информационные технологии в образовании». Официальный каталог (+ CD-ROM). - М.: МИФИ, 2001. – 730 с.
2. Алиев, И. И. Виртуальная электротехника. Компьютерные технологии в электротехнике и электронике / И.И. Алиев. - М.: РадиоСофт, 2003. – 112 с.
3. Воронкова, О. Б. Информационные технологии в образовании. Интерактивные методы / О.Б. Воронкова. - М.: Феникс, 2010. – 320 с.
4. Дайитбегов, Д. М. Компьютерные технологии анализа данных в эконометрике / Д.М. Дайитбегов. - Москва: ИЛ, 2010. - 592 с.
5. Захарова, И. Г. Информационные технологии в образовании / И.Г. Захарова. - М.: Академия, 2010. – 192 с.

Oreshkin M., Oreshkina M., Ermak V.

#### THE USE OF COMPUTER AND INTERNET TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE UNIVERSITY

*The purpose of this work is to study the algorithms for the introduction of electronic technologies in the educational process of a higher educational institution. The practical solution is that students use the learning opportunities more effectively and learn new material better.*

**Keywords:** computer technologies, Internet technologies, educational process.

**Орешкин Михаил Вильевич**, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, академик Российской академии естествознания, профессор кафедры техносферной безопасности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** fid04@yandex.ru

**Oreshkin Mikhail Vilyevich**, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor of the Department of Technosphere Safety, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Орешкина Марина Александровна**, кандидат исторических наук, профессор Российской академии естествознания.

**E-mail:** fid04@yandex.ru

**Oreshkina Marina Aleksandrovna**, Candidate of Historical Sciences, Professor of the Russian Academy of Natural Sciences.

**Ермак Василий Петрович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры пожарной безопасности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** vermak1@list.ru

**Ermak Vasily Petrovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Fire Safety Department of SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Медведев Андрей Юрьевич**, доктор с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой технологии производства и переработки продукции животноводства ГОУ ВО ЛНР ЛГАУ.

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 323.285

## МЧС КАК СУБЪЕКТ БОРЬБЫ С ТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Хамутовская Ю.П., Малкин В.Ю., Дынник И.В.

### THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS AS A SUBJECT OF STRUGGLE WITH TERRORIST ACTIVITIES

Khamutovskaya Y.P., Malkin V.Y., Dynnik I.V.

*Представленная статья посвящена новому и актуальному направлению – борьбе с террористическими угрозами, функциями подразделений МЧС ЛНР как непосредственным субъектом в ликвидации последствий террористических действий.*

*В статье обозначены наглядные примеры того, какая роль задействована сотрудниками МЧС ЛНР в сфере ликвидации и минимизации последствий террористического характера.*

*Приведены примеры деятельности МЧС при ликвидации последствий совершенных вследствие террористических атак. Проанализирована законодательная база, которая регулирует деятельность МЧС.*

*В настоящей работе отражены основные направления противодействия терроризму. Рассмотрены основные нормативно-правовые акты, направленные на противодействие терроризму. Определены основные задачи МЧС по вопросу обеспечения национальной безопасности и противодействию терроризму.*

**Ключевые слова:** терроризм, террористическая угроза, антитеррористическая деятельность, цели и задачи МЧС, чрезвычайные ситуации.

**Состояние проблемы.** Сегодня в мире наблюдается стремительный рост аварий, катастроф и других опасных чрезвычайных ситуаций, связанных с деятельностью террористических группировок. Аварии, техногенные и экологические катастрофы, пожары постоянно оказывают разрушительное влияние на экономику государств и уровень защищенности граждан и окружающей среды. Поэтому организация противостояния чрезвычайным ситуациям стала предметом целенаправленной политики и неотъемлемой частью обеспечения национальной безопасности любого государства.

В практике и теории терроризм рассматривается в разном ракурсе и с различных точек зрения. Прежде всего, с политической точки зрения, а так же социальной, экономической, правовой, религиозной, национальной и т.д. [1].

Успешное обеспечение защиты населения и территорий от террористических актов различного характера основывается на координации деятельности государственных структур и эффективном использовании имеющихся сил и средств.

Вопросы, которые касаются борьбы с террористической деятельностью, являются на данный момент очень актуальными для нашей республики. С момента образования ЛНР не прекращаются террористические атаки со стороны Украинских террористических организаций. Народный совет ЛНР признал террористическими организациями 80 батальонов теробороны Украины, которыми зафиксированы неоднократные попытки проникновения на территорию республики с целью совершения экстремистских акций и террористических атак.[5]

Мы почти каждый день получаем информацию о применении незаконными вооруженными формированиями Украины запрещенных видов вооружения против мирного населения с целью его запугивания и уничтожения. Террористы начали использовать достижения в сфере современной науки и техники, разнообразные виды оружия, современные средства связи.

Изложение основного материала. Терроризм является особо опасным преступлением, за которое предусмотрено наказание вплоть до высшей меры – пожизненного лишения свободы. Но справедливое наказание преступников не может вернуть жизнь и здоровье пострадавшим вследствие террористических актов. С учетом этого, соблюдение элементарных правил безопасности в таких ситуациях является важнейшим залогом сохранения жизни как наивысшей человеческой ценности.

Источником терроризма любого вида является, как правило, социальная среда, но по критериям последствий чрезвычайные ситуации, обусловленные террористическими актами, могут носить техногенный характер, биолого-социальный или социальный.

Таким образом, чрезвычайной ситуацией техногенного характера является нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на отдельной территории или объекте на ней или на водном объекте в результате транспортной аварии (катастрофы), пожара, взрыва, аварии с выбросом (угрозой выброса) опасных химических, радиоактивных и биологически опасных веществ,

внезапного разрушения сооружений; аварии в электроэнергетических системах, системах жизнеобеспечения, системах телекоммуникаций, на очистных сооружениях, в системах нефтегазового промышленного комплекса, гидродинамических аварий и тому подобное.

Последствия террористических актов можно отнести к одним из видов чрезвычайных ситуаций. Но следует ли из этого заключение предположение о том, что противодействие терроризму в ЛНР уже сложилось в социальный институт, а также, что оно является составной частью такого социального института, как прогнозирование, минимизация и ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций?

В результате чрезвычайных ситуаций возникают разрушения сооружений, домов, путей сообщения, заражения местности радиоактивными и химическими веществами, пожары, затопления и тому подобное. Люди могут оказаться в завалах, в подтопленных, поврежденных или горящих домах, а также других непредвиденных ситуациях. В связи с этим необходимы меры по спасению людей, оказанию им помощи, локализации аварий и устранению повреждений. При решении этих проблем исходят из того, что в очагах поражения и районах бедствия будут проводиться не только сугубо спасательные, но и некоторые неотложные работы, не связанные со спасением людей.

Спасателями органов МЧС организовываются следующие работы:

- разведка маршрутов, выдвижения формирований и определение масштаба работ;
  - локализацию и тушение пожаров на маршрутах выдвижения и участках работ;
  - поиск пораженных и извлечения их из поврежденных и горящих зданий, загазованных, затопленных и задымленных помещений, из завалов;
  - вскрытие разрушенных, поврежденных, заваленных сооружений и спасение людей, которые там находятся;
  - подача воздуха в заваленные сооружения с поврежденной фильтро-вентиляционной системой;
  - оказание первой доврачебной помощи пораженным и эвакуация их в медицинские учреждения;
  - вывод (вывоз) населения из опасных зон в безопасные районы;
  - санитарную обработку людей, ветеринарную обработку сельскохозяйственных животных, дезактивацию и дегазацию техники, средств защиты, одежды, продовольствия, воды, фуража.
- Кроме того проводятся другие неотложные работы.

В уголовно-правовой практике терроризм обозначают как применение или угрозу применения насилия или других общественно опасных действий, которые создают опасность жизни или здоровью неопределенного круга лиц, причинения имущественного ущерба либо наступления иных тяжких последствий, если такие действия

направлены на подрыв атмосферы покоя, дестабилизацию, запугивания или угнетения общества с целью принятия государством, международной организацией, физическим или юридическим лицом или группой лиц любого решения или воздержания от него.

Объективная сторона преступления выражена в совершении взрывов, поджогов, а также других действий, которые создают опасность гибели, причинение имущественного ущерба или наступление других общественно опасных последствий, в том случае, если такие действия совершены в целях устрашения населения, нарушения общественной безопасности, а также воздействия на принятие решений органами власти, кроме того, угроза совершения вышеуказанных деяний в тех же целях [2].

Субъективная сторона имеет прямой умысел и имеет специальные цели совершения деяния: нарушение общественного порядка и безопасности, устрашение населения, оказание воздействия на принятие решений органами государственной власти в отношении предъявленных требований [3].

Общеизвестно, что на подразделения МЧС ЛНР в государственной системе противодействия терроризму возложена основная нагрузка по минимизации и/или ликвидации последствий терроризма. Именно это направление является основным видом деятельности спасателей и пожарников (гражданская оборона при этом не задействуется). На данный момент МЧС ЛНР стало основным субъектом борьбы против достаточно нового вида террористической угрозы – «огненного терроризма». Обратим внимание на то, что массовые пожары высшей властью в большинстве стран пока открыто не причисляются к терроризму (за исключением Греции) [8]. Однако лесные пожары, полагаем, наводили на население страх и ужас (т. к. часть граждан чувствовала себя незащищенной) и могли иметь политические последствия. Именно эти признаки – ужас и страх – составляют основу террористической угрозы [9].

Идут неоднократные попытки уничтожения объектов инфраструктуры с помощью диверсионно-разведывательных групп.

Чрезвычайно важными являются вопросы правового обеспечения борьбы с терроризмом.

Базовым законом, который регулирует общественные отношения в области противодействия терроризму в Луганской Народной Республике, является Закон Луганской Народной Республики "О противодействии терроризму". Данный закон был принят 20 декабря 2017 года, в нем заложены необходимые правовые инструменты для борьбы с этой опасностью, которые соответствуют потребностям данного периода времени, также содержит в себе принципиально новые методы в борьбе с терроризмом.

Анализ факторов, создающих угрозу национальной безопасности свидетельствует о

необходимости поддержания в постоянной готовности сил и средств МЧС и резервирования значительных материальных средств для ликвидации этих факторов.

Закон ЛНР «О противодействии терроризму», раскрывает следующие важные вопросы: основные понятие, сущность и принципы противодействия терроризму, организационные основы противодействия терроризму, эффективная защита граждан от террористических актов; своевременное пресечение, предупреждение террористических актов, привлечение лиц, совершивших террористический акт, кроме того, их организаторов и соучастников к ответственности; правовой режим контртеррористической операции, определение организационных и правовых аспектов применения Вооруженных Сил ЛНР в борьбе с терроризмом.

Закон «О противодействии терроризму» также закрепил правовой режим контртеррористической операции. Для пресечения и раскрытия террористических актов, так же в целях минимизации их последствий и защиты жизненно важных интересов общества, личности и республики.

Кроме этого на основании статьи 15 Закона ЛНР «О противодействии терроризму» подразделения МЧС ЛНР могут быть включены в состав сил и средств, привлекаемых для проведения контртеррористической операции [7]. В данный период времени сотрудники МЧС ЛНР принимают непосредственное участие в контртеррористических операциях.

В своей повседневной деятельности МЧС ЛНР осуществляет управление в сфере предупреждения к ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Реализация государственной политики в указанной сфере, предполагает постоянную готовность к реагированию на возникающие чрезвычайные ситуации, осуществление государственного надзора за пожарной безопасностью, безопасным ведением работ в промышленности и ядерной энергетике, охраной и использованием территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, координацией деятельности других республиканских органов государственного управления, местных исполнительных и распорядительных органов.

На данный момент сотрудниками МЧС ЛНР проводится разминирование объектов инфраструктуры, предотвращения последствий после артиллерийских обстрелов. Так сотрудниками МЧС недавно было произведено разминирование Луганской теплоэлектростанции, которая находится в освобожденном от киевских силовиков городе Счастье, где саперы МЧС ЛНР совместно с подразделениями МЧС РФ обследовав территорию, произвели разминирование важного инфраструктурного объекта, от которого зависит обеспечение энергоснабжением нескольких

населенных пунктов, а так же промышленные предприятия, банки, социально значимые объекты, в том числе больницы, детские сады, школы, почты.[4]

Так же сотрудниками МЧС ЛНР проводится предотвращение пожаров, которые возникают из-за обстрелов киевскими силовиками, так в городе Стаханов ЛНР был ликвидирован пожар, который повредил крышу складского помещения, в результате чего было уничтожено огнем 540 кв. м. из 600, но спасателям МЧС удалось ликвидировать возгорание, в результате чего было спасено имущество на сумму 500 тысяч рублей, о чем сообщили в ведомстве МЧС.[6]

МЧС ЛНР сообщает о ликвидации последствий возгорания после взрывов в результате диверсии на газопроводе в городе Луганске. В результате своевременного реагирования и слаженной работы, сотрудникам МЧС удалось избежать повреждения инфраструктуры. Высота пламени достигала 20 метров, но спасателями МЧС возгорание удалось ликвидировать и благодаря оперативным действиям на следующий день была возобновлена подача газа всем ранее отключенным абонентам.[10]

Украинские силовики так же наносят ракетные удары, в результате чего было попадание по нефтебазе в Луганске. Силами МЧС были потушены резервуары, загоревшиеся на Луганской нефтебазе. Как сообщают СМИ попадание произошло в два резервуара: один с дизельным топливом, второй – с бензином. В результате работы 11 подразделений МЧС ЛНР, возгорание было потушено и произведено охлаждение емкости с ЛВЖ (*легковоспламеняющейся жидкостью*) [11].

Для МЧС стоят задачи о необходимости организации выполнения долгосрочных мероприятий по охране жилых массивов и объектов экономики от возможных террористических актов. Обеспечение безопасности функционирования объектов экономики республики, особенно с потенциально опасным для населения и территории производством, систем жизнеобеспечения начинается с выполнения комплекса превентивных мероприятий, закладываемых на стадии проектирования строительства и реконструкции объектов повышенной опасности, жизнеобеспечения и массового скопления людей.

**Выводы.** Итак, в результате изучения литературных источников и законодательства следует сделать вывод, что законодательная база в сфере противодействия преступлениям террористической направленности на территории Луганской Народной Республики создана, и может позволить эффективно реализовывать свои непосредственные функции сотрудниками МЧС ЛНР, как одним из субъектов борьбы с террористической деятельностью.

#### Л и т е р а т у р а

1. Антонян Ю.М. Терроризм. Криминологическое и

уголовно-правовое исследование. – М. 1998.

2. Бобраков И.А. Уголовное право России. Особенная часть. – Саратов: Вузовское образование, 2016.

3. Эриашвили Н.Д. Терроризм и организованная преступность. – М.: ЮНИТИ, 2012.

4. Луганский Информационный Центр – Народный Совет признал террористическими организациями 80 батальонов теробороны Украины (lug-info.com) - Дата обращения: 18.04.2022.

5. Луганский Информационный Центр – Российские саперы завершили разминирование территории Счастьинской ТЭС (lug-info.com) - Дата обращения: 18.04.2022.

6. Луганский Информационный Центр – Возникший из-за обстрела Стаханова пожар повредил крышу складского помещения – МЧС (lug-info.com) - Дата обращения: 18.04.2022.

7. Закон ЛНР «О противодействии терроризму» [Электронный ресурс]: [принят 20 декабря 2017 г.]- Режим доступа: О противодействии терроризму (nslr.su) - Дата обращения: 18.04.2022.

8. Казаков А.В. Выборы власти и чрезвычайные ситуации: в чём взаимозависимость? // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2011. № 2. С. 83 – 84.

9. Перенджиев А.Н. Антитеррористическая политика современного Российского государства: Дис. канд. полит. наук. М., 2007. С. 41.

10. Луганский Информационный Центр – Глава МЧС ЛНР на месте руководит ликвидацией последствий взрыва на газопроводе в Луганске (lug-info.com) - Дата обращения: 18.04.2022.

11. Луганский Информационный Центр – Силы МЧС тушат резервуары, загоревшиеся на луганской нефтебазе в результате удара ВСУ (lug-info.com) - Дата обращения: 18.04.2022.

**Khamutovskaya Y.P., Malkin V.Y., Dynnik I.V.**  
**THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS AS A SUBJECT OF THE FIGHT AGAINST TERRORIST ACTIVITIES**

*The presented article is devoted to a new and relevant direction – the fight against terrorist threats, the functions of the units of the Ministry of Emergency Situations of the LPR as a direct subject in the elimination of the consequences of terrorist actions. The article outlines illustrative examples of what role is involved by the staff of the Ministry of Emergency Situations of the LPR in the field of elimination and minimization of the consequences of a terrorist nature. Examples of the activities of the Ministry of Emergency Situations in the elimination of the consequences of terrorist attacks committed as a result are given. The legislative*

*framework that regulates the activities of the Ministry of Emergency Situations is analyzed. This paper reflects the main directions of countering terrorism. The main normative legal acts aimed at countering terrorism are considered. The main tasks of the Ministry of Emergency Situations on the issue of ensuring national security and countering terrorism have been identified.*

**Keywords:** terrorism, terrorist threat, anti-terrorist activities, goals and objectives of the Ministry of Emergency Situations, emergencies.

**Хамутовская Юлия Петровна**, ассистент кафедры «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** uylia\_rabota@mail.ru

**Khamutovskaya Yulia Petrovna**, Assistant of the Department "Technosphere Safety" of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Малкин Владимир Юрьевич** к.ю.н., доцент кафедры «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля»

**Malkin Vladimir Yurievich** Candidate of Legal Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety of the Institute of Civil Protection of the State Educational Institution of the LPR "Lugansk State University named after V. Dahl"

**Дынник Ирина Владимировна**, ассистент кафедры «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля»

**E-mail:** dunnik1989@mail.ru

**Dynnik Irina Vladimirovna**, Assistant of the Department "Technosphere Safety" of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Аварийно-спасательных работ» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 15.05.2022*

## СЕКЦИЯ 2

# БЕЗОПАСНОСТЬ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

УДК 62-522

## THE METHOD OF CHARACTERISTICS FOR INVESTIGATION OF DYNAMICS OF HYDRAULIC DRIVE

Gusentsova Ya., Vysotskaya N.

## МЕТОД ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ГИДРОПРИВОДА

Гусенцова Я.А., Высоцкая Н.Д

*In this paper we observed the method of characteristics for investigation of dynamics of hydraulic drive.*

*The characteristics of the hydraulic drive communication lines are described by partial differential equations. Various methods are used to solve such equations. In the present paper, the method of characteristics is considered and tested, which consists in reducing a partial differential equation to a ordinary differential equations.*

*Results show that this method gives a much better prediction than the previous techniques using essentially lumped approximation.*

**Key words:** method of characteristics, hydraulic drive, confidence probability, Fisher's criterion.

**Introduction.** The hydraulic drive has found wide application in various fields of technology, in particular in safety systems of technical devices. This is due to a number of advantages, the main and which [4, 5]:

1. Stepless speed control of the output link of the hydraulic transmission and the provision of low stable speeds.

2. Small dimensions and weight. The acceleration time, due to the smaller moment of inertia of the rotating parts, does not exceed fractions of a second, unlike electric motors, in which the acceleration time can be several seconds.

3. Automatic protection of hydraulic systems from the harmful effects of overloads due to the presence of safety valves.

4. Good lubrication conditions for rubbing parts and elements of hydraulic devices, which ensures their reliability and durability.

5. Ease of converting rotational motion into reciprocating and reciprocating without the use of any mechanical gears subject to wear.

Speaking about the advantages of a hydraulic drive, it should be noted the simplicity of automating the operation of hydrofected mechanisms, the possibility of

automatically changing their operating modes according to a given program.

One of the main elements of hydraulic drive systems are hydraulic lines, which in many cases determine the dynamics of the system.

The characteristics of the hydraulic drive communication lines are described by partial differential equations. Various methods are used to solve such equations [1, 2, 3]. In the present paper, the method of characteristics is considered and tested, which consists in reducing a partial differential equation to a family of ordinary differential equations.

**Numerical Algorithm, a Gradient Method.** There are many methods for calculating the dynamics of communication lines. In the present paper, a method of characteristics for calculating the dynamic characteristics of hydraulic lines is proposed and tested.

As mention above the method of characteristics has been applied to many fluid transient problems including pneumatic, water, and oil-hydraulic systems. It revolves around the requirement to represent the appropriate partial differential equations of wave propagation by a total differential equation that may be then applied to forward and backward traveling wave fronts. Consider therefore a section of a transmission line as represented by the characteristic grid in the distance ( $x$ )/time ( $t$ ) plane as shown in Fig. 1.

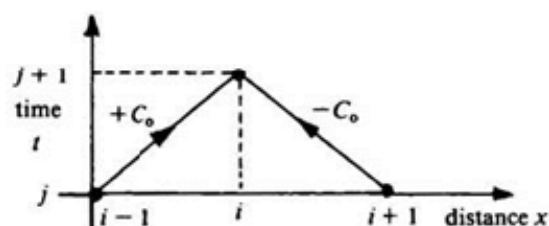


Fig. 1. Characteristic grid in the  $x/t$  plane

If laminar flow exists in the line then the average friction transmission line equations may be transformed to the total differential equation:

$$Z_{ca} \frac{dQ}{dt} \pm \frac{dP}{dt} + C_0 R^1 Q = 0; \quad (1)$$

$$C_0 = \pm \frac{dx}{dt}.$$

In this equation:

$Z_{ca}$  - complex pipeline resistance;  
 $Q$  - flow rate;  
 $P$  - pressure;  
 $x$  - pipeline length;  
 $R^1$  - active resistance.

An attempt has been made to incorporate distributed friction by using a quasi method of characteristics with appropriate weighting function. In this case the right-hand side of equation (1) is replaced by the function:

$$\text{right-hand side} = -\frac{C_0 R^1}{2} \Phi, \quad (2)$$

$$\text{where } \Phi = \int_0^t \frac{\partial Q(u)}{\partial t} \phi(t-u). \quad (3)$$

The 'time dependent' term  $\Phi$  may be evaluated backwards in time at every position node  $i$  by the approximate series:

$$\Phi = \left| (Q_{k+1} - Q_{k-1})\phi(\Delta t) + (Q_{k+1} - Q_{k-1})\phi(3\Delta t) + \dots \right|. \quad (4)$$

Clearly as time proceeds in the analysis then more backward steps have to be computed and at every nodal point in the grid. This requires a large amount of computer memory since the calculations are always different at each time step.

However this point is now of secondary importance due to rapid computer developments, particularly in the microcomputer field.

The boundary condition solution at the servovalve ports is obtained by combining the appropriate servovalve flow equation and transmission line equation. At the servovalve outlet port then the equation for 0, is combined with the backward traveling characteristic equation.

For the servovalve return port then the servovalve flow equation  $Q_2$  is combined with the forward traveling characteristic equation.

Consequently combining (2), (3) and (4) leads to a pair of nonlinear equations that may be solved for either pressure or flow rate depending upon how each equation is rearranged.

This is easily achieved by using a simple successive iteration scheme such as Newton's method. Note that beyond the region of valve underlap then the pair of equations may be rearranged into quadratic form and solved directly at each time step.

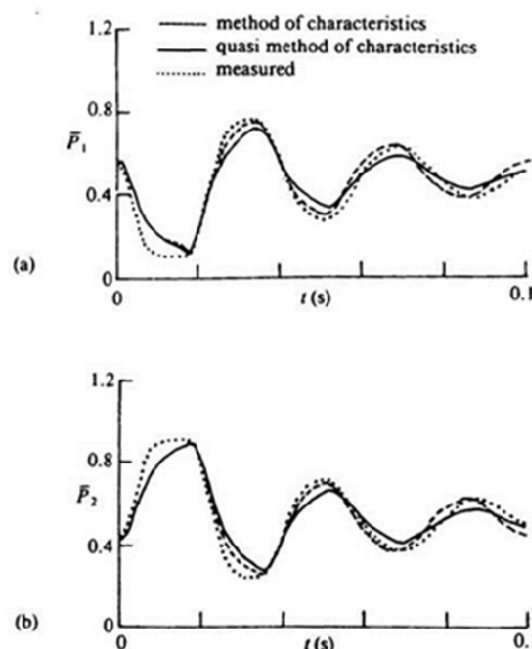


Fig. 2. Computed pressure responses using the method of characteristics and a variety of transmission line models

**Conclusion.** The experimental part of the research was carried out at the stand of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, equipped with the necessary control and measuring equipment. The adequacy of the results was verified by the Fisher criterion with a confidence probability of 0,95. Fisher's criterion is 0,89, which confirms the adequacy of the results obtained.

Results shown in Fig. 2 and illustrate the effect of the transmission line model chosen.

It will be observed that the method of characteristics gives a much better prediction than the previous techniques using essentially lumped approximation.

## Л и т е р а т у р а

1. Polyanin, A. D.; Zaitsev, V. F. & Moussiaux, A. (2002), Handbook of First Order Partial Differential Equations, London: Taylor & Francis, ISBN 0-415-27267-X.
2. Polyanin, A. D. (2002), Handbook of Linear Partial Differential Equations for Engineers and Scientists, Boca Raton: Chapman & Hall/CRC Press, ISBN 1-58488-299-9.
3. Sarra, Scott (2003), The Method of Characteristics with applications to Conservation Laws, Journal of Online Mathematics and its Applications.
4. Коваленко А.А. Гидравлика, гидравлические, пневматические машины и системы приводов технологических устройств / А.А.Коваленко, Я.А. Гусенцова, Н.Д. Андрийчук и [др.]. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2017. – 582 с.

5. Коваленко А.А. Гидравлика и гидропневмоприводы / А.А.Коваленко, Н.Д. Андрийчук, В.И. Соколов и [др.]. – Луганск: Изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2008. – 320 с.

**Гусенцова Я.А., Высоцкая Н.Д.**  
**МЕТОД ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ГИДРОПРИВОДА**

*В работе рассмотрен метод определения характеристик для исследования динамики гидропривода.*

*Характеристики линий связи гидропривода описываются уравнениями в частных производных. Для решения таких уравнений используются различные методы. В работе рассматривается и тестируется метод характеристик, который заключается в сведении дифференциального уравнения в частных производных к обыкновенным дифференциальным уравнениям. Полученные результаты показывают, что используемый метод дает гораздо лучший результат, чем ранее рассмотренные, использующие сосредоточенную аппроксимацию.*

**Ключевые слова:** метод характеристик, гидропривод, доверительная вероятность, критерий Фишера.

**Гусенцова Яна Алимовна**, д.т.н., профессор, профессор кафедры пожарной безопасности института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».  
**E-mail:** gusentsova@gmail.com

**Gusentsova Yana**, Doctor of Technical Sciences, professor, Professor of the Department of Fire Safety of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Высоцкая Наталья Дмитриевна**, к.т.н., доцент, доцент кафедры общетехнических дисциплин института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского».  
**E-mail:** natali.v-v@mail.ru

**Vysotskaya Natalia Dmitrievna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of General Technical Disciplines of the Institute "Agrotechnological Academy" FSAEI HE «V.I. Vernadsky Crimean Federal University»

**Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич**, д.т.н., профессор кафедры «Аварийно-спасательных работ» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

Статья подана 15.05.2022

УДК 331.45:62-522

## OPTIMIZATION OF DESIGN PARAMETERS OF COMPLEX HYDRAULIC SYSTEMS FOR SECURITY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Gusentsova Ya., Malkin V., Kochneva O.

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Гусенцова Я.А., Малкин В.Ю., Кочнева О.В.

*The design parameters of hydraulic systems govern the performance characteristics. Selecting those parameters is necessary to obtain a desired performance (response).*

*Hydraulic systems may be well designed from a static point of view. Certain parameters can be selected to meet static requirements. However, design for dynamic response is considerably more difficult because it is concerned with minimization of the objective functional as well as dynamic characteristics of the system. Design parameters are said to be optimized if they are selected so that the corresponding response matches the desired response closely.*

*The objective of the proposed study is to develop an algorithm which is able to optimize design parameters of complex hydraulic systems so that the desired dynamic response can be obtained. The objective function is of the form of a functional and the constraints are given by two sets of equations, i.e., algebraic equations and state equations. This class of problem requires the variation approach to determine the perturbed values of the functional with respect to the variables and parameters. Some existing algorithms, however, cannot be applied because the algebraic variables.*

**Key words:** hydraulic system, dynamic characteristics, optimization, mathematical model

**Introduction.** When we have a dynamic system whose structure is given, the design of the dynamic system is a two step process. First, the static performance requirements may be used to determine some values of design parameters. Then, the dynamic response requirements must be considered.

If a desired response is specified, an optimal response can be obtained by minimizing the error between the desired response and the predicted one. This optimization might be accomplished

by multiple simulations of the system equations for many possible sets of parameters. However, such a brute-force approach generally does not ensure satisfactory results and is not efficient if the system is fairly complex. In such cases, it is desirable to use a mathematical optimization technique [1-3].

With a mathematical optimization technique, the error becomes the objective function and it has the form of a functional. The solution requires the use of the calculus of variations. In few systems, however, is it

possible to obtain an analytic solution since most systems will have nonlinear equations, which is termed the "indirect" method. So, an iterative numerical algorithm is to be developed, which will be the "direct" method.

A hydraulic system can be described by two sets of equations. One is a set of differential equations and the other is a set of algebraic equations. More generally a dynamic system can be described as mentioned previously even though a set of algebraic equations may not be present. These two sets of equations are the constraints to the objective function mentioned above.

**Previous studies.** The optimization of a hydraulic system is related to a large amount of literature since such system belongs to dynamic control systems [3, 4]. The results of an extensive literature survey revealed that:

1. There is no existing study on parameter optimization for hydraulic systems except one where an algebraic optimization technique was applied.
2. There are several papers which have dealt with parameter optimization for dynamic systems. However, their constraints are just state equations.

At first studies about simulation for dynamic systems should be discussed because simulation is concerned with optimization. A complete simulation program was developed by Smith in 1975. He developed system equations derived from the multiport blocks and established a numerical algorithm which could be used for the simulation of complex hydraulic systems. He implemented an Implicit Method for the solution of the algebraic equations coupled with the state equations. Later, Ebbesen took into consideration the thermal effect in 1976. He added some other feature to his algorithm. There are many other studies concerning the simulation of hydraulic systems.

Little has been reported as related to parameter optimization of hydraulic systems. In 1976, Dransfield and Labrooy studied the optimization of the design parameters. They applied an algebraic optimization technique to achieve the desired response of hydraulic control systems. They Used a proper error index as a design criterion. The optimization technique applied in

the study was a search technique called COMPLEX which is a self-learning procedure that rapidly homes in on variable values that minimizes the chosen index. The technique COMPLEX, however, was developed for an algebraic optimization, and it requires simulation each time search point is evaluated.

Several studies have been reported which dealt with parameter optimization of dynamic systems. In 1973, Ahmed and Georganas derived the necessary conditions for optimal parameters from Gamkrelitze's generalized maximum principle. It was shown that the results are the same as Boltianskii's. In 1974, Georganas studied on optimal parameter selection by imbedding technique. He used necessary conditions given by E-tol t i a n s k i i and the conditions may be solved for optimal parameters. However, there is no general way to obtain the analytical forms of equations from the conditions. Therefore, the above two methods are restricted to specific problems and don o t a p p e a r t o b e applicable to the general optimization problems.

In 1976, Ahmed used a numerical approach to solve the general class of problems. The constraints considered here were a set of differential equations. He proposed a simple gradient algorithm by applying the calculus of variations for the iterative solution of parameter optimization problems. The cost functional was the least squares estimation of system parameters. His idea can be expandable to the problems where cost functional is not the least squares estimation only.

In 1978, an analogical computation scheme was suggested by Teo and Moore utilizing the concept of a directional derivatives. If the order of the system is  $n$ , the method requires the forward-backward integration of a system of  $2n$  differential equations to evaluate the direction of steepest descent of the objective functional. This method utilizes the maximum principle where the Hamiltonian is introduced. However, the constraints are only the differential equations and optimization scheme is fairly complicated causing the commutating time long.

In 1980, Dolezal presented a direct method by applying the calculus of variations. He modified the direct scheme of Ahmed to the solution of parameter optimization problems involving a п o n л i n e a r cost functional and constraints. He a l s o considered parameter-dependent initial state o-f the systems. He showed that the method needed less computation time than that of Tea and Moore. For practical purpose several examples were illustrated in detail even though some error was found in the applications of the algorithm. This method requires less initial formulation but the number of differential equations to integrate is larger than that of Teo and Moore. That is, if the order of the system is  $n$  and the number of parameters are, the method requires the forward integration of a system of differential equations to evaluate the direction of steepest descent. The reason for this is that when the vibrational approach was used, the parameters only were perturbed while the state variables were remained the functions of the parameters.

In 1981, Orurk, Qsipuv, and Fetukhov used a method of orthogonal projections for nonlinear control systems. The method could be used in conjunction with nonlinear programming and i t c o u l d h a n d l e random or regular searches. They converted the differential equations into the finite difference equations, which indicates approximate solution is obtained. Also, this method requires the desired input have a form of equation of motion.

**Problem Statement.** The purpose of the proposed study is to develop an algorithm which can select the design parameters by minimizing the chosen error between the desired dynamic response and the predicted one of a hydraulic system. This problem is usually denoted as parameter optimization or optimal parameter estimation. The proposed study will includes developing a numerical iterative algorithm to optimize the design parameters of a complex hydraulic system.

It may be necessary to start with a dynamic system to make the study more generic one. A continuous dynamic system can be described by two sets of equations, i.e., differential and algebraic equations. Functional representation for these equations is:

$$\dot{X}_i = A_i(X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_2, \dots, Y_m, p_1, p_2, \dots, p_l), i = 1, \dots, n.$$

$$O_j = B_j(X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_2, \dots, Y_m, p_1, p_2, \dots, p_l), j = 1, \dots, n.$$

where  $X$  is the state variable,  $Y$  is the algebraic variable,  $p$  is the parameter.

Then, the objective functional will have the form

$$I(p) = \int_0^t f(X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_2, \dots, Y_m, p_1, p_2, \dots, p_l) dt.$$

Above integral is a function of  $X$  and  $Y$  which are the functions of  $p$ . Therefore,  $I(p)$  is a functional.  $f$  is the function of the error, the difference between the desired response and the predicted one, which will be discussed later.

The aim is to find  $p$  that minimizes  $I(p)$ , the objective functional. Minimizing  $I(p)$  means that the desired response is obtained.

**Variational Approach.** The system we are considering is assumed to have continuous variables  $X$ ,  $Y$  and parameter  $p$ , where  $X$ ,  $Y$  are functions of  $p$ .

If the objective function is an algebraic function, then necessary conditions may be derived by using classical calculus. That is, first derivatives with respect to each parameter is zero at minimum point. However, si n c e the objective function is a functional, the variational approach is required. The fundamental idea under the calculus of variations, which calls the the branch of calculus dealing with this class of problem, is to perturb the unknown variables to see how the objective function behaves. By perturbing the variables, a derivative-like condition can be derived for each variable.

The variables can be represented as:

$$\begin{aligned}\bar{x}_i &= x_i(\bar{p}_k), \quad i=1,2,\dots,n; \\ \bar{y}_j &= y_j(\bar{p}_k), \quad j=1,2,\dots,m; \\ \bar{p}_k &= p_k + \epsilon_k \eta_k, \quad k=1,2,\dots,l.S;\end{aligned}$$

where  $p_k$  is the particular function that minimizes the integral  $I$  and satisfies the initial conditions and  $\eta_k$  is an arbitrary function with continuous second derivatives. The value will represent some small arbitrary quantity. Then:

$$\begin{aligned}\bar{x}_i &= x_i + \epsilon_i^x \eta_i^x, \quad i=1,2,\dots,n; \\ \bar{y}_j &= y_j + \epsilon_j^y \eta_j^y, \quad j=1,2,\dots,m.S\end{aligned}$$

It is now assumed that this can be written as:

$$\begin{aligned}y_j &= F_j(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_m, p_1, p_2, \dots, p_l), \\ j &= 1, 2, \dots, m.\end{aligned}$$

where  $y_j$  is shown as state variable.

For convenience, augmented integral is formed:

$$I = \int_0^t \left( f + \sum_{i=1}^n \lambda_i G_i + \sum_{j=1}^m \psi_j F_j \right) dt, \quad (1)$$

where  $\lambda_i$  and  $\psi_j$  are the Lagrange multipliers for the foiling constraint equations which are redefined here.

$$G_i = \dot{x}_i - A_i(x_i, y_j, p_k), \quad i=1,2,\dots,n;$$

$$F_j = \dot{y}_j - F'_j(x_i, y_j, p_k), \quad j=1,2,\dots,m.$$

Science the integrand  $I$  is dependent on the arbitrary functions  $x_i, y_j, p_k$ , then the necessary conditions for a minimum can be expressed as:

$$\begin{aligned}\frac{\partial I}{\partial \epsilon^x i} &= \int_0^t \sum_{j=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_j} \frac{\partial x_j}{\partial \epsilon^x i} + \sum_{j=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_j} \frac{\partial x_j}{\partial \epsilon^x i} + \sum_{j=1}^m \frac{\partial f}{\partial y_j} \frac{\partial y_j}{\partial \epsilon^x i} + \\ &+ \sum_{k=1}^n \lambda_k \left( \sum_{j=1}^n \frac{\partial G_k}{\partial x_j} \frac{\partial x_j}{\partial \epsilon^x i} + \sum_{j=1}^n \frac{\partial G_k}{\partial x_j} \frac{\partial \dot{x}_j}{\partial \epsilon^x i} \right) + \\ &+ \sum_{k=1}^m \psi_k \left( \sum_{j=1}^n \frac{\partial F_k}{\partial x_j} \frac{\partial x_j}{\partial \epsilon^x i} + \sum_{j=1}^n \frac{\partial F_k}{\partial x_j} \frac{\partial \dot{x}_j}{\partial \epsilon^x i} \right) dt = \\ &= \int_0^t \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \eta_i^x + \frac{\partial f}{\partial x_i} \eta_i^x + \sum_{k=1}^n \lambda_k \left( \frac{\partial G_k}{\partial x_i} \eta_i^x + \frac{\partial G_k}{\partial x_i} \dot{\eta}_i^x \right) \right] + \\ &+ \left[ \sum_{k=1}^m \psi_k \left( \frac{\partial F_k}{\partial x_i} \eta_i^x + \frac{\partial F_k}{\partial x_i} \dot{\eta}_i^x \right) \right] dt = 0.\end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial I}{\partial \epsilon^y j} = \int_0^t \left[ \frac{\partial f}{\partial y_j} \eta_j^y + \sum_{k=1}^n \lambda_k \frac{\partial G_k}{\partial y_j} \eta_j^y + \sum_{k=1}^m \psi_k \left( \frac{\partial F_k}{\partial y_j} \eta_j^y + \frac{\partial F_k}{\partial y_j} \dot{\eta}_j^y \right) \right] dt = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial I}{\partial \epsilon^k} = \int_0^t \left( \frac{\partial f}{\partial p_k} \eta_k + \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{\partial G_i}{\partial p_k} \eta_k + \sum_{i=1}^m \psi_i \frac{\partial F_i}{\partial p_k} \eta_k \right) dt = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial I}{\partial \epsilon^x i} = \int_0^t \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} + \sum_{k=1}^n \lambda_k \frac{\partial G_k}{\partial x_i} \right) \eta_i^x \right] dt = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial I}{\partial \epsilon^y j} = \int_0^t \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial y_j} + \sum_{k=1}^n \lambda_k \frac{\partial G_k}{\partial y_j} + \sum_{k=1}^m \psi_k \frac{\partial F_k}{\partial y_j} \right) \eta_j^y + \psi_j \eta_j^y \right] dt = 0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial I}{\partial \epsilon^x i} &= \int_0^t \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} + \sum_{k=1}^n \lambda_k \frac{\partial G_k}{\partial x_i} + \sum_{k=1}^m \psi_k \frac{\partial F_k}{\partial x_i} \right) \eta_i^x dt \\ &+ \lambda_i \eta_i^x \int_0^t - \int_0^t \frac{d\lambda}{dt} \eta_i^x dt = 0\end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\partial I}{\partial \epsilon^x i} = \int_0^t \left( \frac{\partial f}{\partial Y_j} + \sum_{k=1}^n \lambda_k \frac{\partial Gk}{\partial Y_j} + \sum_{k=1}^m \psi_k \frac{\partial Fk}{\partial Y_j} \right) \eta_j^y dt$$

$$+ \psi_i \eta_j^y \int_0^t \frac{d\psi_i}{dt} \eta_j^y dt = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial X_j} + \sum_{k=1}^n \lambda_k \frac{\partial Gk}{\partial Y_j} + \sum_{k=1}^m \psi_k \frac{\partial Fk}{\partial Y_j} - \frac{d\psi_i}{dt} = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial Pk} + \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{\partial Gi}{\partial Pk} + \sum_{i=1}^m \psi_i \frac{\partial Fi}{\partial Pk} = 0$$

The above equations are similar to Euler-Lagrange equations [3, 4, 7]. If a Hamiltonian Function is introduced the equations can be simpler:

$$H(X, Y, P, \lambda, \psi) = -f + \sum_{i=1}^n \lambda_i A_i + \sum_{j=1}^m \psi_j F_j,$$

Where  $\lambda, \psi$  are the Lagrange multipliers again and  $A$  and  $F$  are defined in this systems. Then following equations are equivalent to this system:

$$-\frac{d\lambda_i}{dt} = \frac{\partial H}{\partial X_i}; \quad -\frac{d\psi_j}{dt} = \frac{\partial H}{\partial Y_j}; \quad 0 = \frac{\partial H}{\partial P_k}.$$

The last equations can be solved by backward integration.

**Numerical Algorithm, a Gradient Method.** The first order change of  $I(P)$  implies the decrease of the objective functional when the parameters are changed in an iterative manner using their gradients. Thus steepest descent (simple (gradient) concept of algebraic optimization problem can be directly applied. However, the method of steepest descent is not efficient in spite of its relative simplicity.

There are several other algorithms known more efficient than the steepest descent method [4, 5]. Conjugate gradients is one technique worthy of consideration. However, the direct application of the method to the present study may not be possible because the objective function cannot be obtained as a function of system variables. But the idea behind this method may be adapted for the numerical algorithm.

The method of conjugate gradients for algebraic optimization needs to be considered briefly first. If an arbitrary initial guess for the parameters (obviously the "arbitrary values" are constrained within certain boundary to satisfy the physical conditions), a sequence of parameters that are evaluated successively can be written as:

$$(p)_{i+1} = (p)_i + \alpha_i (C)_i,$$

where  $\alpha_i$  are positive scalars that defines the distance between  $(p)_i$  and  $(p)_{i+1}$  along the gradient vector  $(C)_i$ .

The vector  $(C)_i$  is initially chosen as a negative vector of the gradient of the objective function,  $\nabla y$  and is given by the following equation:

$$(C)_{i+1} = -\nabla y_{i+1} + \beta_i (C)_{i+1},$$

where  $\beta_i$  are positive scalars that should be determined. Substituting the left hand side of Equation to the objective function allows computing by locating the parameters where the objective function is minimized.

This very idea can be useful for the functional optimization, even though the numerical algorithm does not allow to be shown explicitly in the objective function. Therefore different approach for computing is suggested.

When three points are given for an algebraic function, the function can be minimized using the quadratic interpolation. Similarly, if three different values of  $\alpha_i$  are chosen, three corresponding values of  $I(P)$  can be obtained by simulations ("simulations" here simply means the integration of the original system equations). These sets of information of  $\alpha$  and  $I(P)$  will allow the value of  $\alpha$  that minimizes  $I(P)$ . Initial set of  $\alpha$  may have fixed values which are no less than zero. Also they may be adjusted according to the current change of parameters. By the way, it is noticed that this algorithm requires some additional simulations at each iteration. However, as far as overall computation time till satisfied convergence is concerned, this algorithm is more effective compared to that of simple gradient. Therefore the proposed algorithm can be summarized as shown in Fig. 1.

**Projection of Parameters.** Now parameters are updated -from above algorithm. If the updated parameters are not feasible, they should be forced (projected) into boundaries. For this purpose, the hard boundaries are easily imbedded to the algorithm. Once the boundary is established for each parameter from design specification or equivalent, the overlapping part of parameter is simply discarded.

Mathematically the above method seems to be acceptable. By the way, actual design parameters are not always available in the continuous values even though they are within the specified boundaries. Thus two possible deviation can be presented. One is that parameters are treated as continuous variables until final steps where designer chooses actual parameter closest to the values available. Another is that boundaries are split into some regions to take it into consideration the discrete aspects. Second method needs to be studied more to make it reliable.

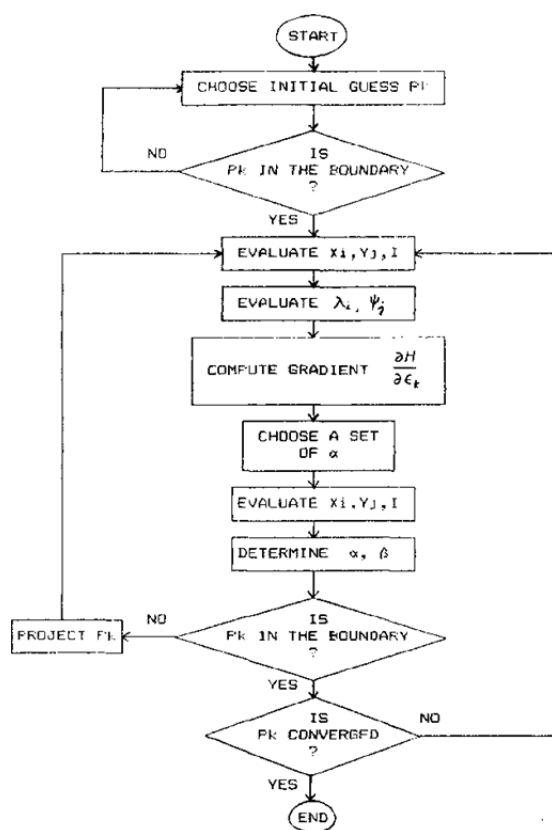


Fig. 1. Algorithm

**Objectives of the Proposed Study.** The proposed study presents an algorithm for parameter optimization of dynamic system. More works should be done to make the algorithm reliable and implement it for user-oriented program (Fig. 1). Keeping these in mind, there are several things to do, i.e.

- 1) Implementation of discrete as well as soft boundary concept to the algorithm.
- 2) Selecting the suitable integration method and including change of the step size that may be necessary during optimization procedure.
- 3) Implementing the algorithm on the computer program.

**Illustrative Example. An Electrohydraulic System.** The purpose of this chapter is to show the practical importance of the algorithm on an example. If experimental results are available for a real hydraulic system, it might be a good idea to apply the algorithm to the system.

Considering this, the electrohydraulic system installed on the east stand in EN 215 has been chosen for the illustrative example. The system is relatively simple because of its course oriented experimental features (Fig. 2).

The system components consist, of mainly a hydraulic power supply, a electrohydraulic valve, and a hydraulic motor [3, 6, 7]. The system configuration is shown in Fig. 2.

The system is governed by the following equations:

$$Q_1 = C_v i \sqrt{p_s - p_1};$$

$$Q_2 = C_v i \sqrt{p_2};$$

$$\dot{p}_1 = \frac{\beta}{V} \left\{ - \left[ D_m N_m + C_s \frac{D_m}{\mu} (p_1 - p_2) \right] + Q_1 \right\}; \quad (11)$$

$$\dot{p}_{q1} = \frac{\beta}{V} \left\{ \left[ D_m N_m + C_s \frac{D_m}{\mu} (p_1 - p_2) \right] - Q_2 \right\};$$

$$\dot{N}_m = \frac{1}{J} D_m (1 - C_f) (p_1 - p_2) - C_d \mu D_m N_m.$$

where  $N_m$  - is hydraulic motor speed;  $I$  - current to the servo valve;  $C_v$  - valve coefficient;  $F_t$  - effective bulk modulus of fluid;  $D_m$  - hydraulic motor displacement;  $J$  - motor and external load inertia;  $C_s$  - dimensionless slip coefficient for the motor;  $C_f$  - dimensionless friction coefficient for the motor;  $C_d$  - dimensionless drag coefficient for the motor.

The variables  $Q_1$ ,  $Q_2$  are the algebraic variables and  $p_1$ ,  $p_2$ , and  $N_m$  are the state variables. They are redefined for programming convenience as follows:

$$Y_1 = Q_1; Y_2 = Q_2; X_1 = N_m; X_2 = p_1; X_3 = p_2.$$

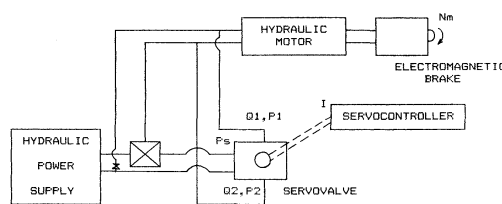


Fig. 2. Electrohydraulic System

Thus the output is the same as  $X_1$  because the experimental Runge-Kutta method is used. Definite integrals are evaluated by Simpson's rule.

Next, choosing of the parameters to be optimized will be considered. Some parameters like bulk modulus or viscosity are hardly chosen because of their physical confinement.

Dimensionless coefficients for the motor also can be assumed to be fixed. Thus parameters to be optimized here are chosen and defined as follows:

$$p_1 \equiv C_v \text{ (valve coefficient);}$$

$$p_2 \equiv D_m \text{ (motor displacement);}$$

$$p_3 \equiv V \text{ (volume of fluid under compression);}$$

$$p_4 \equiv J \text{ (load inertia).}$$

**Discussion of Results.** Since the desired response is approximated as having the second order behavior, the parameters do not converge to the actual values given previously. It is expected that when the linearized system equations are used, the parameters (linearized system requires different parameters be chosen instead of  $C_v$ , for instance) converge to the actual values. This results was proven even though the results for the linearized system are not illustrated here (Fig. 3).

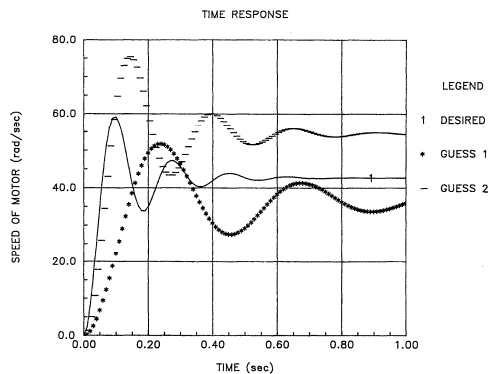


Fig. 3. Stepp response

$$I = \int_0^1 [x1 - R(t)]^2 dt,$$

$$H = -[x1 - R(t)]^2 + \sum_{i=1}^3 \lambda_i X_i + \sum_{j=1}^2 \psi_j y_j. \quad (12)$$

### Л и т е р а т у р а

1. Ahmed N.U., N.D. Georganas. On Optimal Parameter Selection. - IEEE "Transactions on Automatic Control, New York", 18 (1993), p.p. 313-314.
2. Carnahan B., Lither H.A., Wilkes J.O. Applied Numerical Methods, New York: Wiley, 1999. Price: £6-60.
3. Dransfield P., Labrooy R. Hydraulic Systems with Precision Reflexes. Machine Design, (May 2001), p.p. 106-109.
4. Osipov L.A., Petukhov L.G. "F Parameter Optimization of Nonlinear Control Systems by Method of Orthogonal Projections." Automat i c; Remote Control, 42 (1981), 1459-1467. F.
5. Аэрогидромеханика / Н.Д. Андрийчук, А.А. Коваленко, Я.А. Гусенцова и [др.]. – Луганск: Изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2009. – 516 с.
6. Гидравлика. Гидравлические, пневматические машины и системы приводов технологических устройств / А.А. Коваленко, Я.А. Гусенцова, Н.Д. Андрийчук и [др.]. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2017. – 582 с.
7. Гусенцова Я.А. Гидравлические регуляторы малых расходов / Я.А. Гусенцова, В.В. Бугаенко, О.В. Кочнева. – Луганск: Изд. ЛГУ им. В. Даля, 2022. – 104 с.

### Гусенцова Я.А., Малкин В.Ю., Кочнева О.В. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Конструктивные параметры гидравлических систем определяют ее эксплуатационные характеристики. Выбор этих параметров необходим для получения требуемой производительности системы. Проектирование гидравлических систем, определение их конструктивных параметров со статической точки зрения не вызывают особых проблем. Однако определение функций динамического отклика значительно сложнее, поскольку оно связано с минимизацией

целевых функциональных, а также динамических характеристик системы. Проектные параметры считаются оптимизированными, если они выбраны таким образом, чтобы полученные функции отклика точно соответствовали требуемым.

Целью предлагаемого исследования является разработка алгоритма, способного оптимизировать конструктивные параметры сложных гидравлических систем таким образом, чтобы можно было получить желаемый динамический отклик. Целевая функция имеет форму функционала, а ограничения задаются двумя системами уравнений, т.е. алгебраическими уравнениями и уравнениями состояния.

Этот класс задач требует вариационного подхода для определения реакции на возмущение значений функционала по отношению к переменным и параметрам. Однако существующие алгоритмы не всегда могут быть эффективно применены. В статье предложен апробированный алгоритм решения рассматриваемой задачи.

**Ключевые слова:** гидравлическая система, динамические характеристики, оптимизация, математическая модель

**Гусенцова Яна Алимовна**, д.т.н., профессор, профессор кафедры пожарной безопасности института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».  
**E-mail:** gusentsova@gmail.com

**Gusentsova Yana**, Doctor of Technical Sciences, professor, Professor of the Department of Fire Safety of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Малкин Владимир Юрьевич**, к.ю.н., доцент, директор института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».  
**E-mail:** Lgs.lnu@mail.ru

**Malkin Vladimir**, Candidate of Law, Associate Professor, Director of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Кочнева Ольга Владимировна**, к.т.н., доцент высшей школы автоматизации и робототехники института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.  
**E-mail:** kochneva\_ov@spbstu.ru

**Kochneva Olga**, Candidate of Science, associate Professor, Higher school of automation and robotics, Institute of mechanical engineering, materials and transport, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University.

**Рецензент: Будилов Леонид Яковлевич**, д.т.н., профессор кафедры «Аварийно-спасательных работ» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

Статья подана 15.05.2022

УДК 697.34

## ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Гусенцова Я.А., Назаренко Б.В., Письменная С.А.

## ISSUES OF RELIABILITY OF VENTILATION SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Gusentsova Ya., Nazarenko B., Pismennaya S.

*Работа посвящена определению надежности вентиляционных систем промышленных предприятий. Приведены показатели надежности. При рассмотрении безопасности эксплуатации оценки, вероятности безотказной работы, рассмотрены основные категории эффективности работы вентиляционных систем. Обоснована функциональная взаимосвязь приведенных затрат с вероятностью безотказной работы системы.*

*Предложенная методика расчета показателей эффективности вентиляционных систем позволяет сравнить узлы по надежности, выявить слабые звенья и наметить пути повышения надежности на стадии проектирования и эксплуатации.*

**Ключевые слова:** система вентиляции, показатели надежности, безопасность работы, эффективность, системы управления

**Введение.** Инженерные системы промышленных предприятий призваны обеспечить нормальную их жизнедеятельность путем обустройства коммуникаций, к которым можно отнести системы отопления и вентиляции, теплогазоснабжения, водоснабжения и др.

Надежность объекта является комплексным свойством, ее оценивают по четырём показателям – безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости или по сочетанию этих свойств [1, 4].

Важную роль в создании и обеспечении требуемых санитарно-гигиенических норм в производственных помещениях, улучшении условий труда, повышении эффективности работы играют системы вентиляции [3, 6].

Для определения надежности вентиляционных систем промышленных предприятий и систем регулирования расходом воздуха в вентиляционных установках наиболее часто используется метод структурных схем [4, 5]. Для этого система представляется как ряд элементов, для которых известны показатели надежности. Деление системы на элементы и влияние отказов на надежность системы в целом отобразим структурными схемами. Отметим, что метод структурных схем применяют для расчета надежности как вероятности внезапных отказов при условии, что все элементы системы являются одноотказными (т.е. в элементах

невозможны разные отказы одновременно) и отказы элементов независимы.

**Изложение основного материала.** Рассмотрим систему регулирования расхода вентиляционной установки с использованием аппаратуры, включающей в себя вентиляционный агрегат, механический регулирующий орган с электроуправлением.

Соединение элементов является последовательным, при котором работоспособность системы нарушается при выходе из строя любого из элементов.

Таким образом, рассматриваемая система безотказна только в том случае, когда безотказны все элементы. Вероятность безотказной работы  $P$  последовательного соединения элементов, согласно теореме умножения случайных:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

где  $P_i$  – вероятность безотказной работы  $i$  – элемента.

Правильность составления структурной схемы проверим «принципом прохождения сигналов», который заключается в том, что сигналы в структурной схеме проходят только по исправным элементам (отказавший элемент сигнал не пропускает). Так, при последовательном соединении элементов сигнал с входа на вход не проходит, если откажет хотя бы один элемент.

В период эксплуатации интенсивность отказов не зависит от времени, и справедлив экспоненциальный закон надежности:

$$P(t) = \exp(-\lambda t), \quad (2)$$

В этом случае для последовательного соединения  $n$  элементов уравнение принимает вид:

$$P(t) = \exp\left[-\sum_{i=1}^n \lambda_i t_i\right], \quad (3)$$

где  $\lambda_i, t_i$  – интенсивность отказов и время исправной работы  $i$ -го элемента. Для высоконадежных элементов, когда справедливо неравенство  $\lambda_i t_i \ll 1$ ,

$$\exp(-\lambda t) = 1 - \lambda_i t_i.$$

Для расчета надежности сложных систем вероятность безотказной работы каждого элемента известна или задана. При этом учитывается, что она формируется под влиянием различных процессов и является функцией времени. Методика построения схемы формирования вероятности отказа  $P(t)$  приведена в [1].

Для каждого элемента характерна своя кривая наработки до отказа  $F(t)$ , которую можно получить на основе анализа модели постепенных отказов. При изменении периода  $t = T_p$  (ресурса), в течение которого рассматривается работа системы, изменяется и  $P_i$  для каждого элемента. Так, при изменении  $T_{p1}$  до  $T_p$ , вероятность  $P_1$  отказа первого элемента возрастает в несколько раз. Второй элемент становится практически неработоспособным ввиду низкой безотказности, а третий элемент — по-прежнему не лимитирует  $P(t)$ , поскольку его область отказов находится в зоне  $t > T_p$ .

Из выражений следует, что для расчета надежности сколь угодно сложной системы достаточно знать состав элементов, их число, монтажное соединение и статистические характеристики показателей надежности каждого элемента. Данные о составе элементов определим по монтажной схеме, а статистические показатели надежности элементов — на основании данных эксплуатации приводов, подобных проектируемым [1, 4].

Расчет показателей надежности по структурным схемам проводят по блокам и узлам привода. Это позволит сравнить узлы по надежности, выявить слабые и наметить пути повышения надежности на стадии проектирования и эксплуатации.

Расчет выполняется в следующем порядке.

- Формулируется понятие отказа привода.
- Строится структурная схема надежности, на которой указывают временные интервалы работы каждого элемента. Все одинаковые элементы с одинаковыми временем работы и показателями надежности объединяются в элементы расчета.
- Вычисляются количественные характеристики надежности элементов системы.
- Вычисляются количественные характеристики надежности всей системы.
- Определяется суммарная интенсивность отказов

$$\Lambda = \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i + \sum_{j=1}^l n_j \lambda_j + \dots \sum_{m=1}^r n_m \lambda_m, \quad (4)$$

среднее время безотказной работы

$$T_{cp} = 1 / \Lambda. \quad (5)$$

Следует иметь в виду, что показатели надежности вступают в противоречие с другими показателями качества привода (стоимостью, эффективностью и др.). Тесная связь показателей надежности с эффективностью свидетельствует о том, что в общем случае задачу нормирования надежности нельзя рассматривать изолированно. Ее решение, точно так же как и решение задачи нормирования других показателей, должно основываться на исследовании эффективности.

Нормированию подлежат в первую очередь вероятность безотказной работы  $P(t)$  и ресурс  $T_p$ , в течение которого эта вероятность реализуется. Так как значения  $P(t)$  и  $T_p$  взаимосвязаны, нормирование  $P(t)$  должно производиться при заданном  $T_p$ , согласованном со структурой и периодичностью ремонта и технического обслуживания. В настоящее время в различных отраслях промышленности разработаны [4] классификаторы, разбивая основные узлы и элементы конкретного изделия на категории по допустимым значениям вероятности исправной работы.

При проектировании систем вентиляции с высокими требованиями к безопасности эксплуатации необходимо всегда численно оценивать допустимую вероятность отказа. В этом случае безопасность системы вентиляции оценивается вероятностью безотказной работы, а также категорией последствий и уровнем опасности [1, 2].

С повышением надежности возрастают затраты в процессе проектирования, изготовления и отработки системы вентиляции, с одной стороны, и снижаются затраты на эксплуатацию вследствие уменьшения числа отказов с другой. Эти две противоположные тенденции и создают предпосылки для появления экстремума показателей экономической эффективности, которому соответствует определенное (оптимальное) значение вероятности безотказной работы.

Таким образом, задача нормирования надежности сводится к исследованию суммарных приведенных затрат в зависимости от вероятности безотказной работы.

Функциональная взаимосвязь приведенных затрат с вероятностью безотказной работы привода имеет вид:

$$E[P(t)] = C_p[P(t)] + C_e[P(t)], \quad (6)$$

где:  $P(t)$  — вероятность безотказной работы;  
 $C_p[P(t)]$  — приведенные затраты, связанные с обеспечением разработки и производства системы вентиляции с вероятностью безотказной работы  $P(t)$ ;  $C_e[P(t)]$  — ежегодные приведенные затраты, связанные с техническим обслуживанием во время эксплуатации.

Затраты, связанные с проектированием и производством системы вентиляции:

$$C_p[P(t)] = C_{p0} + C_k + C_y, \quad (7)$$

где  $C_{p0} = (\rho + E)C_c$  — приведенные затраты на производство системы ( $\rho = I/T$  — нормативный коэффициент на реновацию;  $T$  — срок службы;  $E$  — нормативный коэффициент капитальных вложений;  $C_c$  — себестоимость производства привода;  $C_k$  — годовые амортизационные расходы на капитальные вложения;  $C_y$  — годовые накладные расходы.

Указанные составляющие расходов зависят от уровня вероятности безотказной работы.

Затраты, связанные с техническим обслуживанием в процессе эксплуатации:

$$C_e[P(t)] = C_{t.o.} + C_p + C_{pr}, \quad (8)$$

где  $C_{t.o.}$  — затраты на проведение планового технического обслуживания;  $C_p$  — затраты на ремонт системы после появления отказов;  $C_{pr}$  — затраты, связанные с простоем машин (оборудования) из-за отказов системы вентиляции.

При  $C_e[P(t)] = \min$  достигается оптимальный (нормированный) уровень вероятности безотказной работы, обеспечивающий минимальные суммарные затраты на производство и эксплуатацию привода.

**Результаты исследований.** Создание высоконадежных систем вентиляции невозможно без определения норм надежности по основным показателям, значения которых должны указываться в технических условиях. Под нормами надежности понимается перечень показателей и их численные значения для оценки надежности системы конкретного типа, предназначенной для работы в заданных условиях эксплуатации. Показатели надежности определяются заказчиком или устанавливаются на стадиях разработки технического задания и проектирования [4, 5].

Из выражений (2 – 5) следует, что для расчета надежности сколь угодно сложной системы достаточно знать состав элементов, их число, монтажное соединение и статистические характеристики показателей надежности каждого элемента. Данные о составе элементов определяются по монтажной схеме, а статистические показатели надежности элементов

— на основании данных эксплуатации приводов, подобных проектируемым [1, 3]. Ниже приведены интенсивности отказов ( $\lambda 10^{-6}$  1/ч) элементов системы, определенные в пределах доверительной вероятности  $\alpha = 0,9$ , полученные в результате обобщения данных эксплуатации струйных, вихревых элементов

Вентиляторы, электродвигатели – 1,0 .. 4,0.

Преобразователи электромеханические – 2,5.

Механические элементы управления расходом – 2,0.

Тиристорные преобразователи – 5,7.

Ниже приведены результаты расчета приведенных затрат для системы с тиристорным регулированием расхода воздуха по отношению к системе с механическими элементами управления:

$$\frac{E[P(t)]_{\text{тиристорная}}}{E[P(t)]_{\text{эл.-механич}}} = 1,3.$$

**Вывод.** Приведенная методика расчета надежности вентиляционных систем промышленных предприятий позволяет повысить экономическую эффективность системы в целом на основе сравнения различных вариантов вентиляционных установок и методов регулирования их производительности.

## Л и т е р а т у р а

1. Аналитические методы в теории надежности / под ред Г.А. Буцан. – Из-во Ин-та математик АН УССР, 1985. – 137 с.
2. Гусенцова Я.А. Повышение надежности вентиляционных систем использованием вихревых устройств / Я.А. Гусенцова. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 4 (193), Луганськ. Вид. СХУ ім. В. Даля, 2013. - С. 78 – 82.
3. Гусенцова Я.А. Расчет технико-экономических характеристик вентиляционных систем промышленных предприятий и их оптимизация / Гусенцова Я.А., Коваленко А.А. – Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2018. – 139 с.
4. Романович Ж.А., Надежность функционирования гидравлических и пневматических систем в машинах и аппаратах/ Ж.А. Романович, В.А.Высоцкий. – Издательство «Дашков и К», 2009. – 272 с.
5. Сырицын Т.А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов / Т.А. Сырицын. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.
6. Kovalenko A.A., Gusentsova Y.A. Ventilation Systems Reliability with Fluidic Control Devices//Naukova mysl informacnej powieki – 2011 VII miedzynarjdowej naukiwi-praktycznej konferencji/ (07-15 marca 2011 r., przemysl, Polska), Przemysl: Nauka I studia, 2011/ Vol.14.P. 60-63.

**Gusentsova Ya., Nazarenko B., Pismennaya S.**  
**ISSUES OF RELIABILITY OF VENTILATION**  
**SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

*The article is devoted to determining the reliability of ventilation systems of industrial enterprises. Reliability indicators are given. When considering the safety of the operation of the assessment, the probability of safe operation,*

*the consequences, the main categories of the efficiency of ventilation systems are considered. The functional relationship of the above costs with the probability of trouble-free operation of the system is substantiated.*

*The proposed methodology for calculating the efficiency indicators of ventilation systems allows you to compare nodes in terms of reliability, identify weak links and outline ways to improve reliability at the design and operation stage.*

**Key words:** ventilation system, reliability indicators, work safety, efficiency, control systems

**Гусенцова Яна Алимовна**, д.т.н., профессор, профессор кафедры пожарной безопасности института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

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

**Gusentsova Yana**, Doctor of Technical Sciences, professor, Professor of the Department of Fire Safety of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Назаренко Борис Владиславович**, старший преподаватель ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** kaf\_iznit@mail.ru

**Nazarenko Boris Vladislavovich**, senior lecturer of the of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Письменная Светлана Анатольевна**, аспирант кафедры вентиляции, теплогазо- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** isaigkh.lnu@yandex.ru

**Pismennaya Svetlana**, grand student of the Department of Ventilation, Heat and Gas and Water Supply, Lugansk Institute of Construction, Architecture, Housing and Communal Services of the of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич**, д.т.н., профессор кафедры «Аварийно-спасательных работ» Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 619.7

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТЫ УЗЛОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Киричевский Р.В., Павленко А.Т., Рожков И.Н.

## PROVIDING THE RECOVERY PROCESS OF OPERATION THE ENGINEERING SYSTEMS NOD'S OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES

Kirichevskiy R.V., Pavlenko A.T., Rojkov I.N.

Любой узел инженерной системы подвергается нагрузкам в соответствии с назначением этой системы. Составные части узлов также подвергаются разнообразным разрушительным воздействиям. Надежность и безопасность узлов инженерных систем тесно связаны с долговечностью их работы. Одним из наименее изученных процессов, влияющих на долговечность, является процесс старения. Его показателем служит степень невозможности полного восстановления работы системы и, как следствие, связанная с ней предельно допустимая характеристика качества ремонта или восстановления.

В работе предлагается математическая модель и общий подход к восстановлению в процессе эксплуатации узлов инженерных систем промышленных предприятий. Это позволит снизить значительный материальный ущерб, наносимый авариями и катастрофами, возникающими в результате старения оборудования. Общепринятых методов сравнения результатов, полученных после применения различных методик восстановления, в двух зависимых выборках не существует.

**Ключевые слова:** надежность, безопасность, долговечность, процесс восстановления, функция распределения, комбинированный метод.

**Введение.** Аварийность свойственна всем видам промышленных предприятий, поэтому решение задачи повышения надежности и безопасности узлов различных инженерных систем путем применения различных методов их восстановления в современном высокотехнологичном обществе играет большую роль [3 – 10].

При функционировании любой узел инженерной системы подвергается нагрузкам в соответствии с назначением этой системы. Составные части узлов также подвергаются разнообразным разрушительным воздействиям. Из всех известных воздействий наименее изучен процесс старения [1, 2, 7]. Его показателем является степень невозможности полного восстановления и, как следствие, связанная с ней предельно допустимая характеристика качества ремонта или восстановительного процесса.

Общепринятых методов сравнения результатов, полученных после применения

различных методик восстановления, в двух зависимых выборках не существует. Решение подобной задачи весьма актуально для выбора способа восстановления в узлах инженерных систем промышленных предприятий [1, 7–10]. Критерием оценки уровня восстановления в задачах теории надежности является степень изменения значения признака, величины, которая может характеризовать степень износа системы, блоков узла и т.п.

**Изложение основных материалов.** Обозначим нормированный признак  $t \in [a, b]$ . В процессе восстановления данной системы добиваемся увеличения (уменьшения) значения этого признака. В качестве такого признака может выступать любой показатель системы или узла, который может меняться в результате работы такой системы.

Пусть выборка  $\{t_n\}^{ai}$  соответствует значениям величины исследуемого признака в начальный момент времени работы узла системы. Данную выборку преобразуем в функцию распределения  $F(t)^{ai}$ . После работы системы через какой-то период времени получим изменения параметра признака той же группы, который обобщим в выборку  $\{t_n\}^{i \text{ i } \tilde{n} \tilde{a}}$  и функцию распределения  $F(t)^{i \text{ i } \tilde{n} \tilde{a}}$

$$F(t) = \frac{1}{1+n} \left( \frac{1}{2} + \sum_{t_i < t} 1 \right). \quad (1)$$

На рис. 1 изображен характер законов распределения, представленных выражением (1).

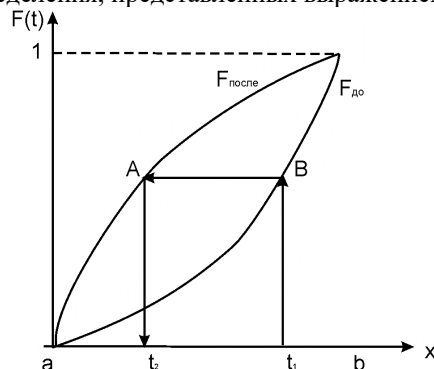


Рис. 1. Определение зависимости  $t_2(t_1)$

Проведем прямую  $F = p = \text{const}$  ( $p$  – уровень вероятности) параллельно оси абсцисс. Эта прямая пересекает функцию распределения в двух точках  $t_{ai}$ ,  $t_{iina}$ . Это есть виртуальное изменение признака  $t$  в результате курса восстановления.

Меняя  $p$  от 0 до 1, мы получим зависимость  $t_{iina}$  от  $t_{ai}$ . Обозначим ее через  $t_2(t_1)$ , т.е.  $t_2$  является функцией от  $t_1$ . Функция распределения по изменяемому (диагностируемому) признаку  $t$  до ремонта всюду выпукла вниз. В результате ремонта значение признака  $t$  должно уменьшиться. Но это произойдет в случае, если для возвращения в строй данного узла необходимо уменьшить признак  $t$ . После ремонта эта характеристика будет всюду выпукла вверх. Полученная зависимость  $t_2(t_1)$  может служить интегральной характеристикой ремонта.

Характер зависимости  $t_2$  от  $t_1$  изображен на рис. 2. Он иллюстрирует некоторую методику восстановления.

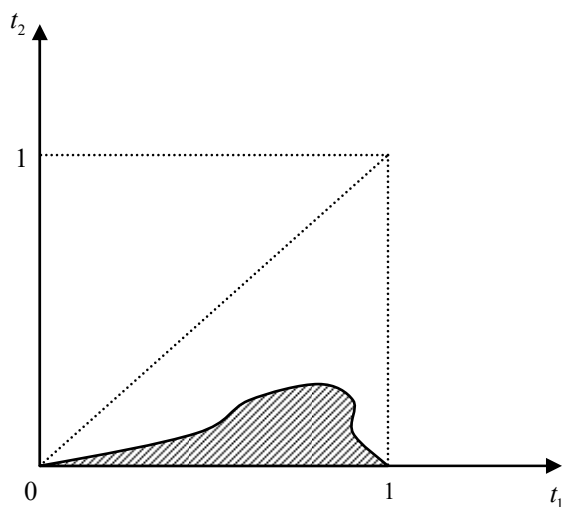


Рис. 2. Характер зависимости  $t_2(t_1)$

Если рассматривать два метода восстановительных работ (рис 3,а, 3,б), то можно получить оптимальный восстановительный процесс, комбинируя эти методы.

Пунктирной линией изображен конкурирующий метод восстановления,  $t_{eo}$  – это пересечение кривых, которые характеризуют различные методы восстановления. До  $t_{eo}$  необходимо применять методу  $a$ , после  $t_{eo}$  необходимо восстанавливать по методу  $b$ .

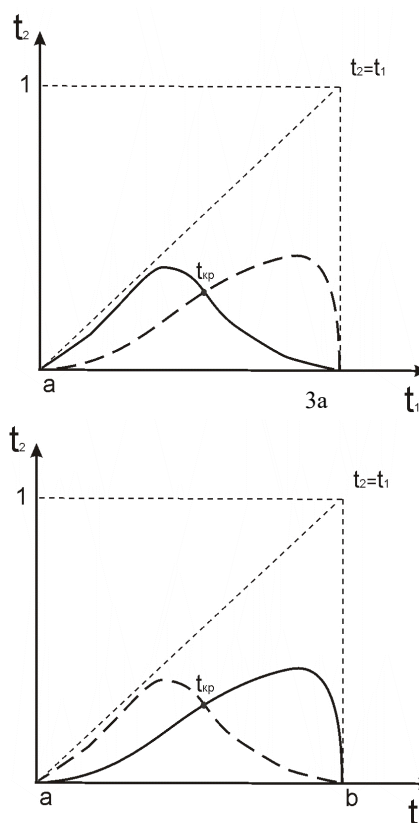


Рис. 3. Методы восстановления

Общая степень восстановления характеризуется площадью криволинейного треугольника, отнесенной к площади треугольника, находящегося под главной диагональю. Назовем это отношение  $\varepsilon$ . Чем меньше  $\varepsilon$ , тем более эффективным будет восстановление контролируемого признака. Это отношение можно определить как критерий степени старения восстанавливаемой системы. Этот показатель накапливается (увеличивается) с каждым ремонтом.

Если контролируемый признак при воздействии на него некоторой методики ремонта необходимо увеличить, то этим будет характеризоваться степень восстановления.

Пусть даны  $n$  наблюдений  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , извлеченных из генеральной совокупности с функцией распределения  $F(t)$ .

Тогда за оценку  $F(t)$  принимают значение

$$\hat{F}(t) = \frac{1}{n+1} \left( \frac{1}{2} + \sum_{\tilde{\alpha}_i < t} \tilde{\alpha}_i \right), \quad \text{где суммирование}$$

проводится по всем  $x_i < t$ . Из центральной предельной теоремы [1] следует, что для каждого  $t$  и произвольного  $\varepsilon > 0$ ,  $P\{|\hat{F}(t) - F(t)| > \varepsilon\} \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$ .

Близкую оценку  $F(t)$  можно получить и путем интегрирования от  $-\infty$  до  $t$  непараметрической оценки плотности:

$$\hat{f}(x) = (bn)^{-1} \sum_{i=1}^n k((x_i - x)/b), \quad (2)$$

где  $b$  – малый параметр, а  $k(u)$  – функция, удовлетворяющая следующим условиям:  $k(u) \geq 0$ ;  $k(u) = k(-u)$ ,  $\int k(u) du = 1$ ,  $k(u) \rightarrow 0$  ( $|u| \rightarrow \infty$ ). Часто в качестве  $k(u)$  берут плотность нормального закона с параметрами  $(0,1)$  [1]. Основное достоинство этих оценок, по сравнению с гистограммами, заключается в том, что они не зависят от выбора положения разрядов. По этой причине они легко обобщаются на многомерный случай. Однако выбор параметра  $b$  так же, как длины разряда, остается произвольным.

В тех случаях, когда требуется проверить гипотезу, что случайная величина имеет функцию распределения  $G(t)$ , принадлежащую семейству вида  $F((t-\mu)/\sigma)$ , где  $F(\bullet)$  – известная непрерывная функция распределения, можно рекомендовать при построении  $\hat{F}$  использовать специальную шкалу, откладывая по оси ординат вместо  $\hat{F}(t)$  величину  $v = F^{-1}(\hat{F}(t))$ , где  $F^{-1}$  – функция, обратная к  $F$ . В этом случае в координатах  $(t, v)$  график  $G(t)$  превращается в прямую линию, по распределению которой легко оцениваются параметры  $\mu$  и  $\sigma$  [1].

Для любой кусочно-линейной функции распределения  $F(x)$  построение обратной функции  $F^{-1}(p)$ , то есть решение уравнения  $F(x_p) = p$  или нахождение эмпирического квантиля для данной вероятности  $p$ , является несложной процедурой.

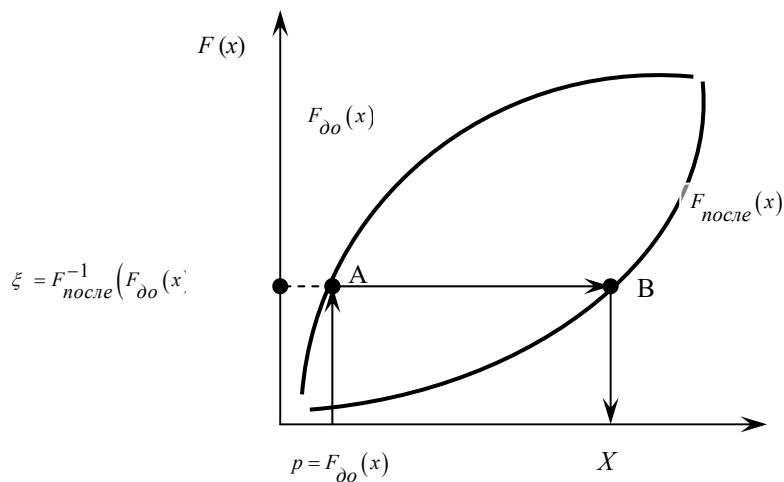


Рис. 4. Определение уровня восстановления как функции от индекса дефектов

Для каждого  $x$  из области определения  $F(x)$  находим  $p = F_{\text{до}}(x)$  – абсциссу точки  $B$  (рис. 4); для каждого  $p$  находим точку  $\xi = F_{\text{после}}^{-1}(F_{\text{до}}(x))$  – ординату точки  $A$ . Разность абсцисс точек  $B$  и  $A$ :  $x - \xi(x) = h(x)$  характеризует степень увеличения  $h(x)$  показателя улучшения показателя  $x$ .

Таким образом, полученные величины связаны соотношением:

$$\begin{aligned} x - h(x) &= \xi(x), \\ x - h(x) &= F_{\text{после}}^{-1}(F_{\text{до}}(x)), \\ F_{\text{после}}(x - h(x)) &= F_{\text{до}}(x). \end{aligned} \quad (3)$$

Полученная характеристика  $h(x)$  определяет интенсивность ремонта (восстановления) для

каждого показателя  $x$ . В целом, любому методу ремонта соответствует своя функция  $h(x)$ . Это дает возможность сравнивать эффективность двух различных методов (рис. 5).

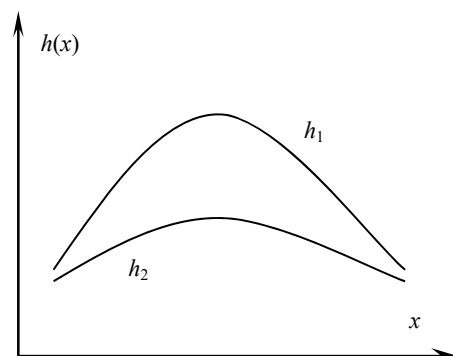


Рис. 5. Сравнение интенсивности различных методов ремонта (случай  $h_1(x) > h_2(x)$ )

В идеале, если  $h_1(x) > h_2(x)$  для каждого аргумента  $x$ , то независимо от выраженности показателя  $x$  метод, характеризующийся кривой  $h_1(x)$ , следует признать более предпочтительным, чем метод, для которого характерна кривая  $h_2(x)$ .

Если же существуют два участка области изменения величины  $x$ , на одном из которых  $h_1(x) > h_2(x)$ , а на другом –  $h_1(x) < h_2(x)$ , то соответствующие два неравенства могут служить критерием предпочтительности применения одного метода по сравнению с другим.

**Результаты исследований.** Приведенные предварительные рассуждения позволяют перейти к сравнению законов распределения нормированного признака до и после восстановления. Пусть  $F_{ai}$  – функция распределения признака системы, где  $t$  – изменяющаяся величина, по состоянию которой определяется необходимость данного вида ремонта. В общем случае система не может быть абсолютно полностью восстановленной, и поэтому функция распределения  $F_{i i \tilde{n} \tilde{a}}$  будет отличаться от  $F_{ai}$ . Система подвергается ремонту или восстановлению – означает, что функция  $F_{ai}$  подвергается действию какого-то оператора, который переводит  $F_{ai}$  в  $F_{i i \tilde{n} \tilde{a}}$ . Сформулируем порядок степени воздействия этого оператора, дающего не только изменение  $F_{ai}$  и  $F_{i i \tilde{n} \tilde{a}}$ , где  $p$  определено любым из возможных способов, но и более дифференцируемую информацию об оценке состояния системы после ремонта.

Проведем  $n$  измерений при одних и тех квантилях распределения до планируемого воздействия и после. Получаем две выборки одинакового объема  $\{t_i\}^{ai}$  и  $\{t_i\}^{i i \tilde{n} \tilde{a}}$ . По этим выборкам находим их функции распределения следующим образом. Для каждого значения  $t_i$  находим значение функции распределения  $F_i$  по правилам:

$$\begin{aligned} t < t_{(1)} &\rightarrow F = \frac{0,5}{n+1}, \\ t_{(1)} \leq t < t_{(2)} &\rightarrow F = \frac{1,5}{n+1}, \\ t_{(n-1)} \leq t < t_{(n)} &\rightarrow F = \frac{n-1+0,5}{n+1}, \\ t \geq t_{(n)} &\rightarrow F = \frac{n+0,5}{n+1}. \end{aligned} \quad (4)$$

По этим данным строим графики функции на интервале  $(a, b)$ . На этом интервале выберем произвольную точку  $t_1$ , и для каждой этой точки

находим функцию распределения  $F_{ai}$  абсциссу точки  $B$ , а для каждого  $B$  находим функцию распределения  $F_{i i \tilde{n} \tilde{a}}$  – ордината точки  $A$ , получая новую точку  $t_2$ .

Чтобы для каждого  $t_1$  получить соответственно  $t_2$ , необходимо выбрать  $t_{\min} = a$  и  $t_{\max} = b$ , тогда шаг, с которым будем находить  $t_2$ , будет равен  $\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{n}$ . Таким образом, беря  $t_1 = t_{\min}$ , то  $t = t_1 + \Delta t$ , если  $t < t_{\max}$ , то  $t_1 = t$ , где  $t_1 \in (t_i, t_{i+1})$ , а функция распределения  $(F_i, F_{i+1}) \rightarrow F_1$ , т.е.  $F = F_2 \rightarrow t_2, \forall t_1 \rightarrow t_2$ .

Таким образом, получены две новые выборки  $\{t_1\}$  и  $\{t_2\}$ . По координатам этих точек строим график функции  $t_2(t_1)$  (рис. 6). Если полученная кривая находится в правом нижнем треугольнике, то результаты статистической обработки являются верными, иначе – нет.

Общую степень восстановления оцениваем так же, как и выше. Для этого находим отношение площади криволинейного треугольника к площади треугольника, расположенного под главной диагональю (рис. 7). Чем меньше отношение, тем более эффективным будет восстановление контролируемого признака.

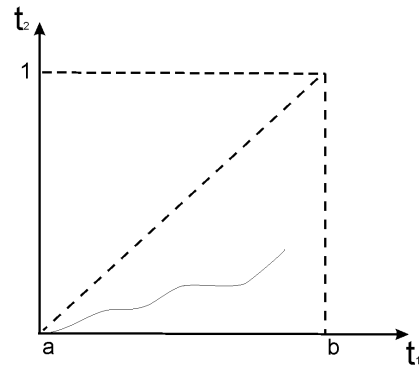


Рис. 6. Вывод правила решения

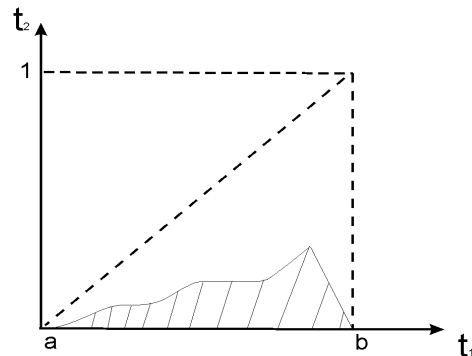


Рис. 7. Оценка степени эффективности восстановления

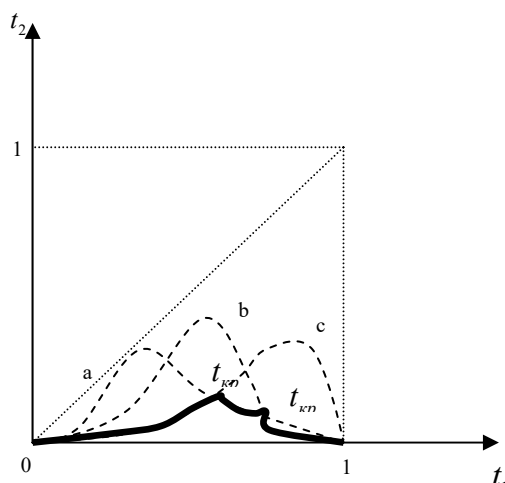


Рис. 8. Комбинированный метод ремонта

**Выводы.** Как отмечалось ранее, восстановление системы не может быть полным. Суммируя получившиеся отношения после каждого ремонта, можно говорить об общем восстановлении системы и пригодности ее к дальнейшей эксплуатации. Полученные результаты несложно обобщаются на случай произвольного числа методов восстановительных работ. При условии, что каждый  $j$ -й метод восстановления ( $1 \leq j \leq k$ ) имеет свою характеристику  $x_2(x_1)$ , то для результирующей:

$$x_2^\Sigma(x_1) = \min_{0 \leq x_1 \leq 1} \{x_2^{(1)}(x_1), x_2^{(2)}(x_1), \dots, x_2^{(k)}(x_1)\}. \quad (5)$$

Результирующая функция  $x_2^\Sigma(x_1)$  является огибающей снизу совокупности функций  $x_2^j(x_1)$ . Она содержит в себе информацию о смене типа восстановительных работ в каждой угловой точке своего графика. Являясь кусочно-непрерывной функцией, она имеет столько точек разрыва производной, сколько будет перемен методов ремонта. Из всех возможных вариантов нижняя огибающая обеспечивает тот вариант, который дает наибольший эффект при восстановлении. При этом обеспечивается наименьший вклад в суммарную степень не до конца произведенного восстановления. Общая сумма накопленной «усталости» оборудования  $\varepsilon = \sum \varepsilon_l$ , где  $l$  – номер очередного ремонта, минимизируется, таким образом, благодаря применению комбинированного метода.

Предлагаемый общий подход к восстановлению в процессе эксплуатации узлов инженерных систем промышленных предприятий позволит снизить значительный материальный ущерб, наносимый авариями и катастрофами, возникающими в результате старения оборудования.

#### Л и т е р а т у р а

1. Бирюкова Л.Г. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие / Л.Г.

Бирюкова, Г.И. Бобрик, В.И. Матвеев. – М.: Инфра-М, 2019. – 160 с.

2. Блехман И.И. Прикладная математика: Предмет, логика, особенности подходов. С примерами из механики / И.И. Блехман, А.Д. Мышкис, Я.Г. Пановко. – М.: Ленанд, 2018. – 376 с.

3. Василенко, А.Б. Современная энергетика и энергетика будущего: Технологии производства. Нетрадиционные источники. Экологическая безопасность / А.Б. Василенко, В.В. Тетельмин. – М.: Ленанд, 2018. – 240 с.

4. Загутин Д.С. Производственная безопасность / Д.С. Загутин. – М.: Русайнс, 2018. – 157 с.

5. Кукин В.Л. Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда / В.Л. Кукин. – М.: Высшая школа, 2003. – 439 с.

6. Кукин, П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда) / П.П. Кукин, В.Л. Лапин. – М.: Высшая школа, 2009. – 335 с.

7. Малкин В.С. Надёжность технических систем и техногенный риск. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 432 с.

8. Михайлов Ю.М. Промышленная безопасность и охрана труда. Справочник руководителя (специалиста) опасного производственного объекта / Ю.М. Михайлов. – М.: Альфа-Пресс, 2014. – 232 с.

9. Резчиков Е.А. Безопасность производственных систем / Е.А. Резчиков, А.Н. Герасин, В.А. Голов и др. – М.: МГИУ, 2006. – 156 с.

10. Тимофеева С.С. Производственная безопасность: учебное пособие / С.С. Тимофеева, Ю.В. Шешуков. – М.: Форум, 2017. – 414 с.

Kirichevskiy R.V., Pavlenko A.T., Rojkov I.N.

#### PROVIDING THE RECOVERY PROCESS OF OPERATION THE ENGINEERING SYSTEMS NOD'S OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES

*Any node of the engineering system is subjected to loads in accordance with the purpose of this system. The component parts of the nodes are also subjected to various destructive influences. The reliability and safety of engineering systems nodes are closely related to the durability of their work. One of the least understood processes affecting longevity is the aging process. Its indicator is the degree of impossibility of a complete restoration of the system operation and, as a result, the maximum permissible characteristic of the quality of repair or restoration associated with it.*

*This paper proposes a mathematical model and a general approach to the restoration in the process of operation of units of engineering systems of industrial enterprises. This will reduce significant material damage caused by accidents and disasters resulting from equipment aging. There are no generally accepted methods for comparing the results obtained after applying different restoration techniques in two dependent samples.*

**Key words:** reliability, safety, durability, recovery process, distribution function, combined method.

**Киричевский Ростислав Викторович**, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры пожарной безопасности Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

**E-mail:** rost71@mail.ru

**Kirichevskiy Rostislav Victorovich**, Associate Professor, candidate of technical sciences, Assoc. Department of Fire Safety of the Institute of Civil Protection SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Павленко Александр Тимофеевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой техносферной безопасности Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**Pavlenko Alexander Timofeevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department Technosphere Safety of the Institute of Civil Protection SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рожков Игорь Николаевич**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

**Rojkov Igor Nikolaevich**, Senior Lecturer of the Department of Fire Safety of the Institute of Civil Protection SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Гусенцова Яна Алимовна**, д.т.н., профессор, профессор кафедры пожарной безопасности института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 331.45:510.644.4

## ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОВ

Родыгина М.М., Максюк И.К., Рожков В.Н.

## PNEUMATIC FUZZY LOGIC ELEMENTS FOR DRIVE CONTROL SYSTEMS

Rodygina M., Maksyuk I., Rojkov I.

Рассматриваются конструкция, принцип действия и динамические характеристики элементов нечеткой логики. Получена математическая модель гидромеханических характеристик двухмембранного элемента нечеткой логики, реализующего логическую функцию «ИЛИ». Рассчитанные частотные характеристики подтвердили адекватность математической модели, что дает основание ее использования для оптимизации геометрических размеров элемента.

**Ключевые слова:** логические элементы нечеткой логики, математическая модель, частотные характеристики, адекватность

**Введение.** Систематические исследования в области применения элементов нечеткой логики являются одной из актуальных задач автоматизации [3, 4]. Это объясняется тем, что большинство промышленных объектов регулирования являются нелинейными и использование стандартных регуляторов (позиционных, П, ПД, ПИД и др.) не может обеспечить качественное регулирование. Кроме того, использование пневматических элементов позволит повысить надежность и безопасность инженерных систем промышленных предприятий.

Элементы этой системы нашли широкое распространение для автоматизации различных технологических процессов, в частности, систем безопасности инженерных систем промышленных предприятий. Так, двухмембранное пневматическое реле позволяет реализовать все основные функции четкой и нечеткой логики [3, 6]. Обоснованное применение их в конкретной области может быть получено на основе анализа результатов математического моделирования динамических характеристик.

**Методы исследования.** Основным методом исследования в приведенной работе является метод математического моделирования [1]. С этой целью разработана математическая модель аэродинамических процессов, происходящих в элементе «ИЛИ» нечеткой логики. Принципиальная схема элемента приведена на рис. 1.

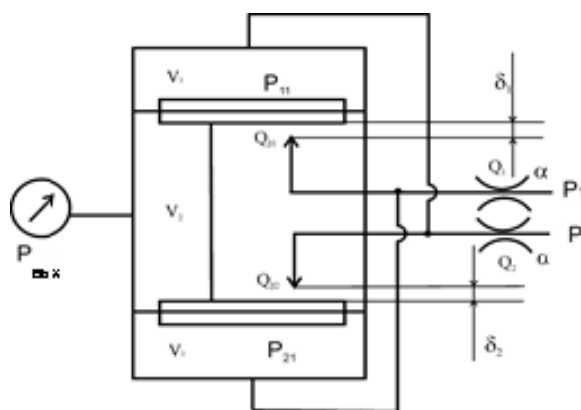


Рис. 1. Реализация логической функции «ИЛИ»

При работе этого элемента возможны два варианта. Когда  $\tilde{P}_1$  больше  $\tilde{P}_2$ , двухмембранная сборка движется вверх, нижнее сопло закрывается и на выходе формируется сигнал  $\tilde{P}_1$ . В другом случае ( $\tilde{P}_2$  больше  $\tilde{P}_1$ ) закрывается верхнее сопло и на выход подается сигнал  $\tilde{P}_2$ . Как видно из принципа действия на выходе всегда будет больший из входных пневматических сигналов:

$$P = \text{MAX}(\tilde{P}_1, \tilde{P}_2). \quad (1)$$

Математическая модель любого аэромеханического процесса включает уравнение движения и уравнение неразрывности.

Уравнение движения мембранной сборки пневматического реле [3] (основные обозначения приведены на рис. 1):

$$m \frac{d^2 \delta}{dt^2} + k_1 \frac{d\delta}{dt} + C_m \delta = S_{y0} (p_{11} - p_{21}), \quad (2)$$

где  $m$  – масса подвижных частей;  $t$  – время;  $k_1$  – коэффициент трения;

$C_m$  – жесткость мембраны.

Если  $\delta \ll D$ ,

$$S_{y\delta} = \frac{\pi}{12}(D^2 + Dd + d^2), \quad (3)$$

где  $S_{y\delta}$  – эффективная площадь мембраны;

$D, d$  – диаметр мембраны и жесткого центра.

Уравнение неразрывности для потока газа в верхней камере [1, 5]:

$$Q_1 = \alpha(p_1 - p_{21}) = \frac{V_1}{a^2} \frac{dp_{21}}{dt} + Q_{\beta 1}, \quad (4)$$

для нижней камеры:

$$Q_2 = \alpha(p_2 - p_{11}) = \frac{V_1}{a^2} \frac{dp_{11}}{dt} + Q_{\beta 2}, \quad (5)$$

для выходной камеры:

$$Q_{\beta 1} - Q_{\beta 2} = \frac{V_2}{a^2} \frac{dp_{\text{аи}\delta}}{dt}, \quad (6)$$

где  $Q_1, Q_2, Q_{\beta 1}, Q_{\beta 2}$  – объемные расходы через первый и второй дроссель, верхнего и нижнего дросселя «сопло-заслонка»;  $\alpha$  – проводимость дросселя.

В связи с тем, что течение газа в дросселях может быть как дозвуковым, так и сверхзвуковым, уравнения неразрывности могут принимать различные значения в зависимости от перепада давления:

если  $\frac{p_{xy}}{p_{ab}} > 0,528$ ,

$$Q_n = \mu f p_{ab} \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT} \left[ \left( \frac{p_{xy}}{p_{ab}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_{xy}}{p_{ab}} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (7)$$

если  $\frac{p_{xy}}{p_{ab}} < 0,528$ ,

$$Q_n = \mu f \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} p_{ab} \sqrt{\frac{2k}{(k+1)RT}}, \quad (8)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода;  $f$  – площадь проходного сечения дросселя;  $k$  – показатель адиабаты;  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура,  $p_{xy}, p_{ab}$  – давления выхода и входа для соответствующих дросселей и камер (например, для  $Q_1$   $p_{xy} \rightarrow p_{21}, p_{ab} \rightarrow p_1$ ).

Площадь проходного сечения дросселя определяется по формулам:

$$f_{1c}(\delta) = \frac{\pi d^2}{4} \delta, \quad (9)$$

$$f_{2c}(\delta) = \frac{\pi d^2}{4} (\delta_{\max} - \delta), \quad (10)$$

где  $\delta, \delta_{\max}$  – смещение мембраны и максимальное смещение мембраны.

Разработанная математическая модель (уравнения 1- 10) позволяет определить основные динамические и статические характеристики пневматической схемы, основной из которых является амплитудно-частотная. На рис. 2 и 3 приведено изменение давления на входе и выходе пневматической схемы, реализующей логическую функцию нечеткой логики «ИЛИ», при нагрузке на элемент в виде емкости объемом 50 см<sup>3</sup>, а на рис. 4 – амплитудно-частотная характеристика исследуемого элемента.

Аналогичные математические модели аэромеханических процессов разработаны для пневматических схем, реализующих различные функции нечеткой логики.

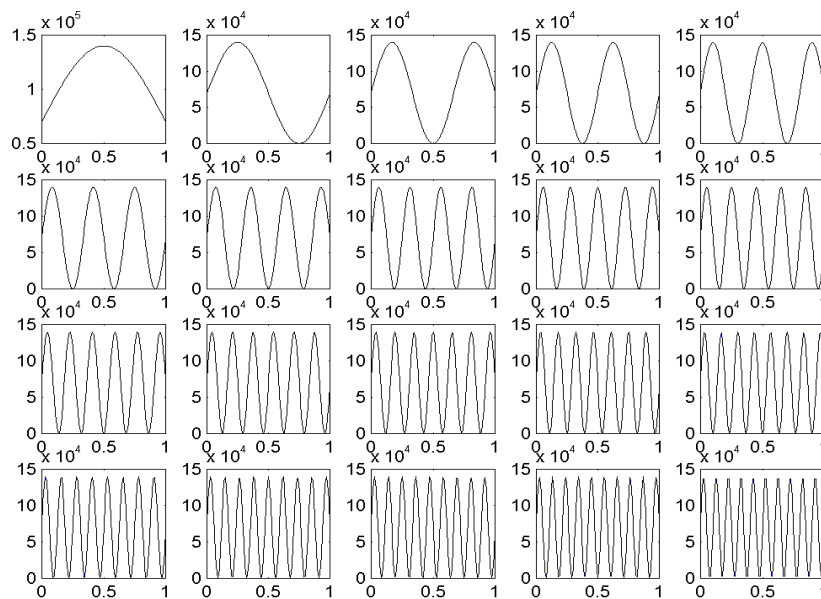


Рис. 2. Изменение входного давления (по оси абсцисс – время в секундах, по оси ординат – давление, Па)

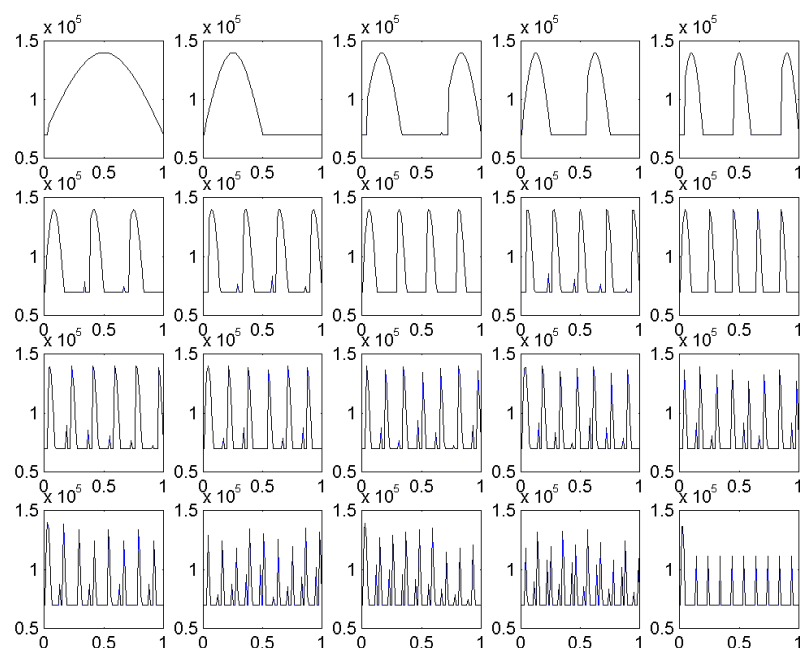


Рис. 3. Изменение давления на выходе пневматической схемы при раз-личной частоте входного сигнала (обозначения соответствуют рис. 2)

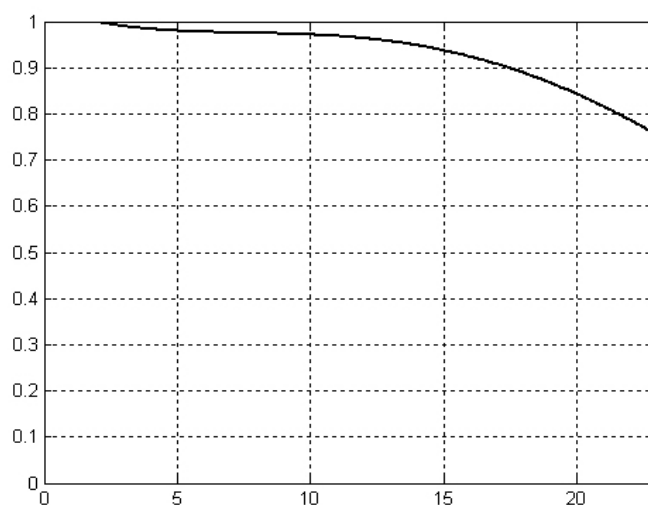


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика пневматического элемента нечеткой логики (по оси абсцисс – частота, Гц, по оси ординат – относительная амплитуда давления)

**Обсуждение результатов.** Полученный результат не противоречит данным, приведенным в литературе для подобных элементов [1, 6], по ширине зоны пропускания частотного сигнала для элементов подобного типа. Окончательный вывод об адекватности математической модели сделан после проведения экспериментальных исследований на стендах лаборатории пневмоавтоматики кафедры «Гидрогазодинамика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, где были разработаны оригинальные схемные решения [3, 4].

Обработка результатов опытов показала, что гидромеханические процессы в элементах нечеткой

логики описываются адекватно разработанной математической моделью (расчетное значение критерия Фишера для них равно  $\approx 0,8$ ).

**Выводы.** Таким образом, полученная математическая модель гидромеханических характеристик позволяет определить влияние геометрических параметров используемого пневматического элемента на его динамику, в частности на зону пропускания частотного сигнала.

Это служит основанием рекомендовать использование пневматических элементов нечеткой логики в системах безопасности инженерных систем промышленных предприятий

### Л и т е р а т у р а

1. Аэрогидромеханика / Н.Д. Андрийчук, А.А. Коваленко, Е.Н. Кондауров и [др.]. Под общ. ред. А.А.Коваленко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2009. – 516 с.
2. Гидравлика. Гидравлические, пневматические машины и системы приводов технологических устройств / А.А. Коваленко, Я.А. Гусенцова, Н.Д. Андрийчук и [др.]. Под общ. ред. А.А.Коваленко. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2017. – 582 с.
3. Коваленко А.А. Применение регуляторов, основанных на принципах нечетких множеств, в транспортных системах управления / А.А. Коваленко, Ю.В. Баранич // Подъемно-транспортная техника. – №3, 2005. – С. 83 – 87.
4. Коваленко А.А. Использование нечеткой логики в системах регулирования температуры теплоносителей тепловоза / А.А.Коваленко А.А., Баранич Ю.В. //Вестник СНУ им. В. Даля. – №5 (75), 2004. – С. 68-72.
5. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
6. Пневмоавтоматика / Гусенцова Я.А., Коваленко А.А., Мальцев Я.И. и [др.]. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2010. – 249 с.

**Rodygina M., Maksyuk I., Rojkov I.**  
**PNEUMATIC FUZZY LOGIC ELEMENTS FOR DRIVE CONTROL SYSTEMS**

*We consider design, operation and the dynamic characteristics of the elements of fuzzy logic. The mathematical model of hydromechanical characteristics of twomembran element of fuzzy logic that realize the logic function "OR". We calculated the frequency characteristics that confirmed the adequacy of the mathematical model that gives base its use for optimizing the geometric dimensions of the element.*

**Key words:** logic elements of fuzzy logic, a mathematical model, the frequency characteristics, adequacy

**Родыгина Мария Михайловна**, к.т.н., доцент, доцент кафедры пожарной безопасности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** rabotagz388@gmail.com

**Rodygina Mariya**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fire Safety of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Максюк Инна Константиновна**, к.т.н., доцент, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** rabotagz388@gmail.com

**Maksyuk Inna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Рожков Игорь Николаевич**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** mail inrojkov@mail.ru

**Rojkov Igor**, senior lecturer of the Department of Fire Safety of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Гусенцова Яна Алимовна**, д.т.н., профессор, профессор кафедры пожарной безопасности института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 331.45:62-82

## ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Родыгина М.М., Бугаенко В.В., Понамаренко А.Н.

## DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE HYDRAULIC DRIVE OF ENGINEERING SYSTEMS

Rodygina M., Bugaenko V., Ponomarenko A.

*Показан механизм возникновения биений в нагнетательных линиях объемного гидравлического привода. Приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований биений давления в напорных линиях объемного гидравлического привода инженерных систем. Получены формулы для определения амплитуды и частоты биения давления. Обосновано, что полученные на основе модели данные согласуются с экспериментальными.*

**Ключевые слова:** привод, безопасность, амплитуда и частота биения давления, гидравлический привод, математическая модель

**Введение.** Одним из эффективных средств совершенствования инженерных систем различного назначения является более широкое использование гидравлических объемных приводов. Гидравлические приводы обладают свойствами, которые обеспечивают гидрофицированным машинам высокие технико-экономические характеристики. Гидравлические объемные приводы характеризуются глубоким бесступенчатым регулированием скорости выходного звена, свободой компоновки, простотой защиты от перегрузок, высокой энергоемкостью единицы массы гидрооборудования [1 – 3].

Эти особенности позволяют эффективно использовать гидравлический привод для обеспечения безопасности инженерных систем промышленных предприятий.

Исследованию динамических характеристик объемных гидравлических приводов посвящена обширная литература [4 – 6], в которой рассмотрены вопросы проектирования, выбора аппаратуры, его статистики. Однако недостаточно внимания уделено расчету нестационарного давления в гидравлических линиях, которое определяется с одной стороны самой конструкцией насоса и

мотора, а с другой – условиями их совместной работы. Исследованию второй причины посвящена предлагаемая работа

**Изложение основного материала.** Рассмотрим схему гидравлического привода (рис. 1), состоящего из насоса 1, мотора 2, вал которого жестко связан с нагрузкой 3. Математическая модель такой системы включает уравнение неразрывности [1, 3]:

$$C \frac{\partial p}{\partial t} = Q_H(\omega_H, t) - Q_M(\omega_M, t) - Q_{UT}, \quad (1)$$

где  $Q_H$ ,  $Q_M$ ,  $Q_{UT}$  – расход рабочей жидкости через насос, мотор и расход утечки в системе,

$C$  – акустическая емкость гидравлической линии нагнетания;

$P$  – давление в линии нагнетания,

$\omega_H$ ,  $\omega_M$  – угловая скорость вращения валов насоса и мотора соответственно.

Подача насоса и мотора зависят от их типов, частоты вращения и могут быть определены в каждом конкретном случае [2 – 4].

Утечки в насосе и моторе зависят от уровня давления, зазоров между вытеснителями и корпусом, вязкости жидкости [2, 5]. Для рассматриваемого случая утечки жидкости в моторе и насосе прямо пропорциональны перепаду давления и могут быть выражены соотношением:

$$Q_{UT} = k_{UT} \Delta p. \quad (2)$$

Здесь  $k_{UT}$  – постоянный коэффициент, зависящий от типа машин, который может быть определен из их статических характеристик.

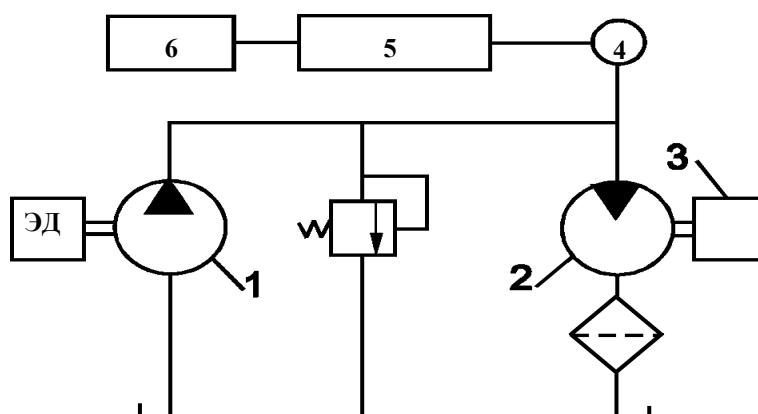


Рис. 1. Принципиальная схема объемного гидропривода

Уравнение движения гидромотора:

$$J \frac{\partial \omega_M}{\partial t} = M_M - M_H, \quad (3)$$

где  $M_M, M_H$  – крутящий момент гидромотора и момент сопротивления;

$J$  – приведенные момент инерции вращающихся частей гидромотора и нагрузки.

Давления на выходе из насоса и входе в гидромотор в общем случае различны. Разница определяется активным и индуктивным сопротивлениями линии и может быть легко посчитана [6]. Однако при коротких линиях эта разница мала, и ею можно пренебречь. Таким образом, уравнения (1–3) позволяют рассчитать нестационарное давление в трубопроводе и изменение частоты вращения вала мотора.

Экспериментальная проверка полученных соотношений выполнялась на лабораторном стенде, содержащем нерегулируемые шестеренные насос и мотор, датчик давления 4, усилительную 5 и регистрирующую аппаратуру 6 (рис. 1). Нагрузкой служил вентилятор, установленный на валу мотора. Момент вентилятора (нагрузочный момент) [4, 6]:

$$M_H = M_0 + k_H \omega_M^2, \quad (4)$$

где  $M_0$  – момент трения в подшипниках, который пренебрежимо мал по сравнению с полезным моментом.

Для объемной гидромашины [2, 6]

$$M_M = \frac{q_M}{2\pi} \Delta p, \quad (5)$$

Здесь  $q_M$  – рабочий объем гидромашины. Используя уравнения (1–5) получим:

$$\begin{cases} T_1 \frac{\partial \bar{p}}{\partial t} = \bar{Q}_H(\bar{\omega}_H, t) - \bar{Q}_M(\bar{\omega}_M, t) - k_i \bar{p}, \\ T_2 = \frac{\partial \bar{\omega}_M}{\partial t} = -\bar{\omega}_M^2 + \bar{p}. \end{cases}, \quad (6)$$

где  $T_1, T_2$  – постоянные времени линии нагнетания и гидромотора с вентилятором;

$k_i = 0,002 \dots 0,004$  – постоянный коэффициент, зависящий от типа мотора и насоса.

В последних выражениях переменные величины (подача, давление и частота вращения) нормализованы по отношению к значениям идеального гидравлического привода, который включает идеальные гидромашины и гидролинии. Эксперименты проведены с двумя типами трубопроводов, соединяющих насос и мотор и имеющих различную акустическую емкость. Для первого из них  $T_1 = 0,0016$  с, для второй  $T_2 = 0,001$  с.

На рис. 2 показаны расчетные и экспериментальные данные изменения нестационарного давления.

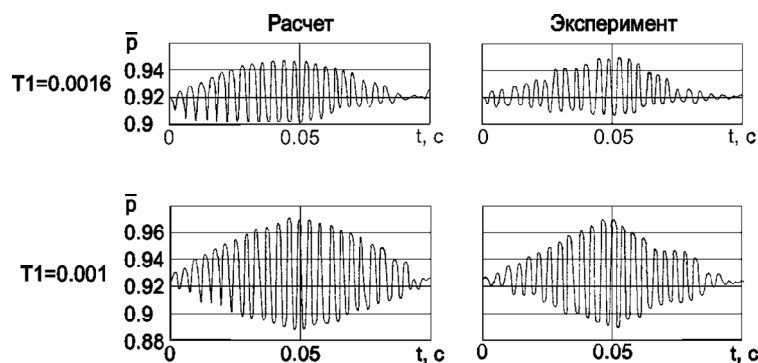


Рис. 2. Расчетные и экспериментальные данные изменения нестационарного давления

Статистическая обработка результатов подтвердила адекватность предложенных расчетных уравнений.

На рис. 3 показаны экспериментальные и расчетные зависимости амплитуды биения давления от постоянной времени линии нагнетания и частоты биения в зависимости от объемного коэффициента полезного действия системы.

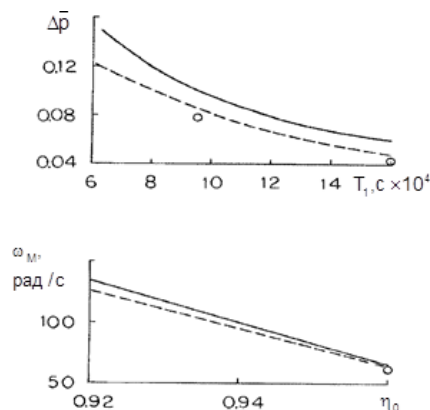


Рис. 3. Результаты экспериментов

В случае если момент инерции нагрузки достаточно велик, частоту вращения гидромотора можно считать постоянной и упрощенные формулы для расчета частоты и амплитуды биений, возникающих в нагнетательном трубопроводе объемного гидравлического привода, имеют вид:

$$\Delta p = \frac{k_2 + k_3}{T_1 z \omega_H}, \quad (7)$$

$$\omega_M = \omega_H \cdot z (1 - \eta_0). \quad (8)$$

В этом выражении:

$z$  – число поршней аксиально- или радиально-поршневого насоса (число зубьев у шестеренного насоса);

$\eta_0$  – объемный коэффициент полезного действия системы;

$k_2, k_3$  – коэффициенты неравномерности подачи мотора и насоса соответственно (если в приводе используются одинаковые машины, то  $k_2 = k_3$ ).

Полученные уравнения позволяют рассчитать амплитуду биений давления в случае использования в приводе машин разного типа.

**Выводы.** Таким образом, показан механизм возникновения биений в нагнетательных линиях объемного гидравлического привода и приведены адекватные расчетные зависимости для определения их амплитуды и частоты. Полученные результаты позволяют правильно оценить надежность привода и возможность его использования в системах безопасности промышленных предприятий.

### Л и т е р а т у р а

1. Богданович Л.Б. Гидравлические приводы / Л.Б. Богданович. – Киев: Высшая школа, 1980. – 232 с.

2. Гидравлика, гидравлические, пневматические машины и системы приводов технологических устройств / А.А. Коваленко, Я.А. Гусенцова, Н.Д. Андрийчук. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2017. – 582 с.

3. Коваленко А.А. Основы объемного гидравлического привода строительных и дорожных машин / А.А. Коваленко, В.И. Соколов, П.Е. Уваров и др. – Луганск: Изд-во ДонГАСА, 1999. – 138 с.

4. Токаренко В.М. Гидропривод и гидрооборудование автотранспортных средств / В.М. Токаренко, В.З. Терских, А.Л. Столяров. – К.: Лыбидь, 1991. – 232 с.

5. Blackburn, J. F., Reethof, G., and Shearer J. L. (Editor), Fluid Power Control, The M.I.T. Press, 1980.

6. Eck, B., Entfurf und Betrieb der Radial-, Axial- und Querstrom-Ventilatoren, Springer-Verlag, 1962, p. 560.

### Rodygina M., Bugaenko V., Ponamarenko A. DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE HYDRAULIC DRIVE OF ENGINEERING SYSTEMS

The mechanism of the occurrence of beats in the discharge lines of a volumetric hydraulic drive is shown. The results of analytical and experimental studies of pressure beats in the pressure lines of the volumetric hydraulic drive of fire safety systems are presented. Formulas for determining the amplitude and frequency of pressure beating are obtained. It is proved that the data obtained on the basis of the model are consistent with experimental data.

**Key words:** drive, safety, amplitude and frequency of pressure beating, hydraulic drive, mathematical model.

**Родыгина Мария Михайловна**, к.т.н., доцент, доцент кафедры пожарной безопасности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля». E-mail: rabotagz388@gmail.com

**Rodygina Mariya**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fire Safety of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Бугаенко Виктор Васильевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля». E-mail: victorvas49@gmail.com

**Bugaenko Viktor**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Понамаренко Андрей Николаевич**, ассистент кафедры пожарной безопасности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля». E-mail: ponamarenko.andrey@inbox.ru

**Ponamarenko Andrei**, assistant of the Department of Fire Safety of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Гусенцова Яна Алимовна**, д.т.н., профессор, профессор кафедры пожарной безопасности института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

Статья подана 15.05.2022

УДК 536.24:532.517

## ДИФфуЗИЯ В ПРОЦЕССАХ ГОРЕНИЯ

Филиппенко Ю.Н., Голдованский А.В., Щербак В.Н.

## DIFFUSION IN COMBUSTION PROCESSES

Filippenko Yu., Goldovanskiy A., Shcherbak V.

*Рассмотрены основные процессы горения диффузионное, гомогенное, гетерогенное и другие. На основе теории подобия получены основные соотношения диффузионных процессов при горении, а также понятия о пламенном и беспламенном горении. В основу изучения характеристик процесса положен метод математического моделирования. Основное внимание уделено диффузионному горению. Показано, что коэффициент диффузионного массообмена в процессе горения обратно пропорционален диаметру частицы.*

**Ключевые слова:** типы горения, диффузия, математическая модель, диаметр частицы

**Основные виды горения.** Горение представляет собой комплекс одновременно протекающих физических процессов и химических реакций окисления горючего вещества, сопровождающийся световым, тепловым излучением и выделением дыма. В основе горения лежит взаимодействие горючего вещества с окислителем, как правило, с кислородом воздуха.

Отметим, что горение может происходить без доступа воздуха (кислорода), если в состав горючей среды входит окислитель в виде примеси или составной части молекулы.

На практике различают несколько типов горения: гомогенное, гетерогенное, диффузионное, смешанное [2, 3].

Гомогенное горение имеет место, когда реагенты перед началом горения были перемешаны без поверхности раздела фаз.

Гетерогенное, когда реагенты изначально находятся в разных агрегатах состояния (твердое + газ, твердое + жидкость) или между ними имеется поверхность раздела (твердое + твердое, несмешивающиеся жидкость + жидкость).

При диффузионном горении реагенты (горючая составляющая и окислитель) перед началом горения не были перемешаны, а их смешение происходит в процессе горения за счет процесса диффузии.

Достаточно часто при пожаре отмечается смешанный тип горения.

По внешнему проявлению горение может быть пламенным или беспламенным.

Использование катализатора приводит к автокаталитическому горению, которое происходит при низких температурах. При достижении определенных концентраций промежуточных

каталитических продуктов автокаталитическое горение может переходить в тепловое, при этом температура горения резко возрастает.

**Введение.** Согласно своему определению диффузия возникает всегда, когда в какой-либо области пространства имеется неравномерность концентраций веществ, температуры (термодиффузия), давления (бародиффузия) [3]. Все эти процессы в той или иной степени присутствуют при горении различных веществ. Скорость протекания каждого из этих этапов в принципе оказывает влияние на общую скорость протекания процесса. В случае если скорость протекания какого-либо процесса меньше скорости других этапов, то она лимитирует скорость протекания процесса в целом. При этом даже существенное увеличение скорости протекания нелимитирующих этапов практически не скажется на общей скорости процесса.

Возможность повлиять на направленность и скорость диффузии широко используется в современной технике. В этом одна из основных причин большого интереса к проблеме диффузии со стороны и ученых, и инженеров [2, 3].

Диффузия связана, с одной стороны, со многими фундаментальными физическими законами и понятиями, с другой – со многими сложными процессами, протекающими при горении [1, 3].

Для описания массообменных процессов в окрестности горящей частицы принято использовать концепцию приведенной пленки, согласно которой в ядре потока, омывающего частицу, имеет место интенсивный молярный перенос, вызванный турбулентными пульсациями, а в пределах условной пограничной пленки происходит только молекулярный перенос [3]. Поэтому основной газовый поток можно считать однородным, а приведенная пограничная пленка является областью ярко выраженных градиентов температур, концентраций и парциальных давлений газообразных компонентов.

### Математическая модель процесса диффузии.

Поток вещества к поверхности реагирующей частицы  $G$ , кг/(м<sup>2</sup>с) в соответствии с законами молярного и молекулярного переноса определяется как [1, 3]

$$G = \alpha_D (C_{по} - C_{об}), \quad (1)$$

$$G = D \frac{C_{по} - C_{об}}{\Delta}, \quad (2)$$

где  $\alpha_D$  – коэффициент молярного переноса, определяемый при помощи соответствующего критериального уравнения, м/с, [4];

$D$  – коэффициент молекулярной диффузии, м<sup>2</sup>/с;

$C_{по}$ ,  $C_{об}$  – концентрации изучаемого газообразного компонента у поверхности частицы и в основном газовом потоке соответственно, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta = \frac{D}{\alpha_0}$  – толщина приведенной пленки, м.

Кроме этого, имеет место следующее соотношение:

$$\frac{\Delta}{\delta} = \frac{D}{\alpha_0 \delta} = \frac{1}{Nu_D}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – характерный размер углеродной частицы, м;

$Nu_D$  – диффузионный критерий Нуссельта, определяемый при помощи соответствующих критериальных уравнений [5].

**Результаты исследований.** Дальнейшие исследования показали, что значение коэффициента молярного переноса в основном зависит от скорости обдува частиц топлива газообразной средой и размера частиц.

Различают несколько принципиально отличающихся схем сжигания твердого топлива, для которых принципиально отличаются как названные параметры, так и соответственно значения коэффициента молярного переноса. Основными используемыми схемами являются сжигание в покое слое, в псевдооживленном состоянии, сжигание в циркулирующем кипящем слое и факельное сжигание топлива в пылевидном состоянии (рис. 1).

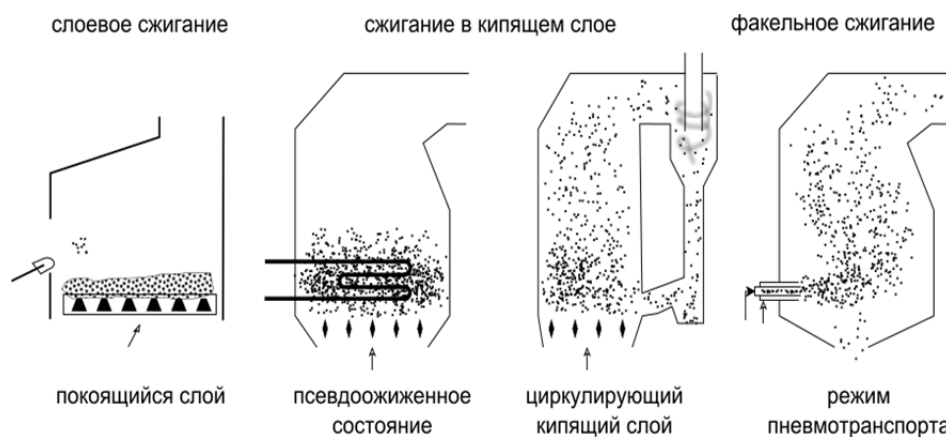


Рис. 1. Технологии сжигания органических топлив

Наибольшие значения скорости обдувания частиц топлива потоком воздуха имеют место при слоевом сжигании. При факельном способе частицы топлива перемещаются с потоком дымовых газов, и скорости обтекания их газовым потоком значительно ниже. Кроме того, экспериментально доказано, что при факельном сжигании частица топлива окружена облаком продуктов сгорания, которое тормозит подвод кислорода к поверхности. В связи с этим на начальных этапах развития теории горения предполагалось, что интенсификация горения при факельном способе сжигания объясняется исключительно увеличением суммарной реагирующей поверхности частиц. Дальнейшие экспериментальные исследования по теплообмену между малой сферической частицей и газовым потоком с учетом [4, 5] позволили получить следующую обобщенную критериальную зависимость:

$$Nu_D = 2 + 0,33 \cdot Re^{0,5}, \quad (4)$$

где  $Re$  – критерий Рейнольдса, характеризующий режим течения среды и по своему физическому

смыслу представляющий отношение сил инерции и вязкости.

Из приведенного уравнения видно, что для течений с  $Re < 1$ , соответствующих скорости витания мелких частиц,  $Nu \rightarrow 2$ . Тогда справедливыми являются следующие соотношения:

$$Nu_D = \frac{\alpha_D \delta}{D} = 2, \quad \alpha_D = \frac{2D}{\delta}.$$

**Вывод.** Таким образом, из полученных зависимостей следует, что коэффициент диффузионного массообмена обратно пропорционален диаметру частицы. Следовательно, при уменьшении размера топлива диффузия кислорода к поверхности частицы интенсифицируется.

## Л и т е р а т у р а

1. Бирюков А.Б. Математическая модель выгорания пылеугольного топлива в топке энергетического котла / А.Б. Бирюков, В.А. Семергей // Вестник ДонНТУ, 2017. – №1. – С. 32-37.
2. Коваленко А.А. Термодинамика для инженеров-строителей/ А.А. Коваленко и др. – Луганск: Издательство ЛНУ им. В. Даля, 2020. - 351 с.

3. Недопекин Ф.В. Теоретические и прикладные аспекты диффузии/ Ф.В. Недопекин, А.А. Коваленко, А.Б. Бирюков, П.А. Гнатиёв. – Донецк: Дон НУ, 2017. – 327 с.

4. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике/ Седов Л.И. – М.: Наука, 1981. – 448 с.

5. Соколов В.И. Критериальный подход к анализу диффузионных процессов в турбулентных потоках/ В.И. Соколов, А.А. Коваленко, С.А. Минин. – Луганск: Издательство ВНУ В. Даля, 2004. – 210 с.

**Filippenko Yu., Goldovanskiy A., Shcherbak V.  
DIFFUSION IN COMBUSTION PROCESSES**

*The main combustion processes are considered - diffusive, homogeneous, heterogeneous, and others. On the basis of similarity theory, the basic relations of diffusion processes during combustion are obtained. As well as the concepts of flaming and flameless combustion.*

*The study of the characteristics of the process is based on the method of mathematical simulation. The main attention is paid to diffusion combustion. It is shown that the coefficient of diffusion mass transfer in the combustion process is inversely proportional to the diameter of the particle.*

**Keywords:** types of combustion, diffusion, mathematical model, particle diameter

**Филиппенко Юрий Николаевич**, к.т.н., директор Государственного унитарного предприятия ЛНР «Луганский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по качеству и обогащению углей»

**Filippenko Yuri**, Candidate of Technical Sciences, Director of the State Unitary Enterprise of the LPR "Lugansk Research and Design Institute for the Quality and Beneficiation of Coal"

**Голдованский Алексей Вячеславович**, старший преподаватель ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** igztaktika@mail.ru

**Goldovanskiy Aleksei**, senior lecturer of the of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Щербак Виктор Николаевич**, старший преподаватель ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля». Научные интересы: системы пожарной безопасности.  
**E-mail:** Fire\_lug@mail.ru

**Shcherbak Viktor**, senior lecturer of the of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Гусенцова Яна Алимовна**, д.т.н., профессор, профессор кафедры пожарной безопасности института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

*Статья подана 15.05.2022*

## СЕКЦИЯ 3

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В  
ТЕХНИЧЕСКИХ И ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ

УДК 004.056.5

НЕОБХОДИМОСТЬ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ  
БИОМЕТРИЧЕСКОГО ГОЛОСОВОГО ОТПЕЧАТКА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
КИБЕРМОШЕННИКОВ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

Герасимов В.М., Маслова М.А.

THE NEED FOR A COMPREHENSIVE SYSTEM TO PROTECT  
THE BIOMETRIC VOICE FINGERPRINT FROM THE EFFECTS OF  
CYBERCRIMINALS ON THE INTERNET

Gerasimov V.M., Maslova M.A.

На сегодняшний день актуальность проблемы защиты биометрических данных выходит на первый план. Существует множество вариантов использования биометрических данных в своих целях, в особенности защита голосовых отпечатков пользователей. Их использование возможно в разных целях, а простота использования позволяет получить огромные возможности и направления. При невыполнении комплекса мероприятий, можно столкнуться с глобальной проблемой как голосовой идентификации, так и с проблемами, связанными с криминалистическими действиями мошенников в социальных сетях. Причины данного явления, устранения и необходимость решения данного вопроса рассмотрим в данной статье.

**Ключевые слова:** биометрический голосовой отпечаток, синтезирование речи, кибермошенники

**Введение.** С развитием технологий, возможности использования различных видов данных становится все доступнее. Личные данные, при утечке могут использоваться злоумышленниками в своих целях. Как показывает практика, с каждым годом злоумышленников в сети становится всё больше и больше, так, например, в 2021 году число кибератак выросло на 50% [1]. С каждым годом использование технологий в своих неправомерных действиях растёт. Обманывать население становится легче, из-за того, что люди стали всё больше времени проводить в интернете. Например, в 2021 году количество интернет-пользователей по всему миру стало больше на 332 миллиона человек, а это 7,62% в годовом исчислении (см. рис. 1) [2].

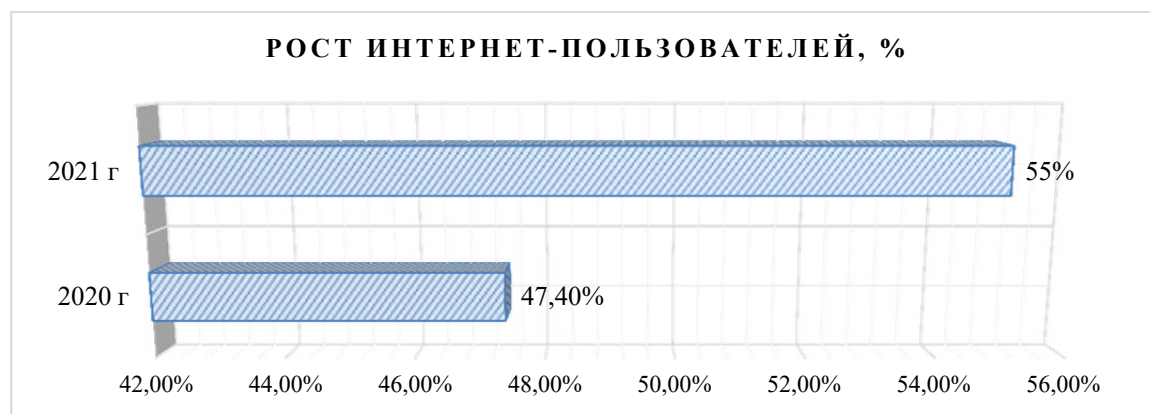


Рис. 1. Рост интернет-пользователей, %

Всё это показывает, насколько рост интернет-пользователей влияет на рост киберпреступности, поэтому необходимо выявить возможные угрозы, а также принципы и методы работы предполагаемых злоумышленников для того, чтобы обеспечить комплексную систему безопасности пользователей в сети интернет. При данном подходе удастся устранить возможные причины на этапе реализации возможного нарушения со стороны мошенников.

Использование голосового отпечатка может использоваться злоумышленниками в различных целях, начиная от несанкционированного доступа в личный кабинет при помощи текстонезависимой системы идентификации пользователя, но и также при применении социальной инженерии и технических средств для шантажирования или вымогательства материальных средств своих жертв.

Таким образом, при моделировании возможных ситуаций, которые могут говорить о подозрительной активности, а также неправомерных действий, совершённых лицом или группой для достижения своих целей в сети интернет при помощи голосовых отпечатков пользователей, возможно предотвратить утечку данных, а также обеспечить комплексную

защиту, позволяющая предотвратить возможные манипуляции со стороны злоумышленника в корыстных целях.

**Основная часть.** Использование социальной инженерии в наше время – это один из самых популярных методов достижения злоумышленниками своих целей [3, 20]. Социальная инженерия позволяет воздействовать на слабости потенциальной жертвы. При данном типе атаки происходит психологическое воздействие, которое возможно реализовать при психологической неподготовленности потенциальной жертвы. Противодействовать данным методам атаки возможно при помощи киберграмотности населения (инструкции как могут действовать нарушители) и применения средств защиты специалистов в области информационной безопасности (уведомление о потенциальной угрозе фишинг-сайта, блокировка номеров и пр.). Например, по статистическим данным в 2020 году доля атак с применением социальной инженерии составила около 61,8% по сравнению с 2019 годом, где процент атак с применением социальной инженерии составил около 68,6%, т. е. киберпреступность с применением социальной инженерии снизилась на 6,8% (см. рис. 2) [4].



Рис.2. Снижение кибератак при помощи социальной инженерии, %

Данные показатели говорят о том, что при организованном плане действий оповещения населения возможно незначительно сократить рост кибератак. Существует некоторая зависимость снижения кибератак с помощью социальной инженерии, но все же происходит массовое возрастание кибератак в мире. Всё зависит от того, что сведения, указанные выше, составлены исходя из всех возможных кибератак. Воздействие самых эффективных методов кибератак, методы социальной инженерии, удалось незначительно

сократить (на 6,8%). Ко всему прочему, на рост кибератак играет роль увеличения интернет-пользователей по всему миру. Активный спрос социальных сетей создаёт злоумышленникам благоприятную «почву» для активных, мошеннических действий. Например, WhatsApp является самой «популярной» в мире платформой для общения [5]. Данную платформу используют около 24,1% процент населения в мире (численность глобального населения в феврале 2022 года составляет 7,92 миллиарда человек) (см. рис. 3) [6].

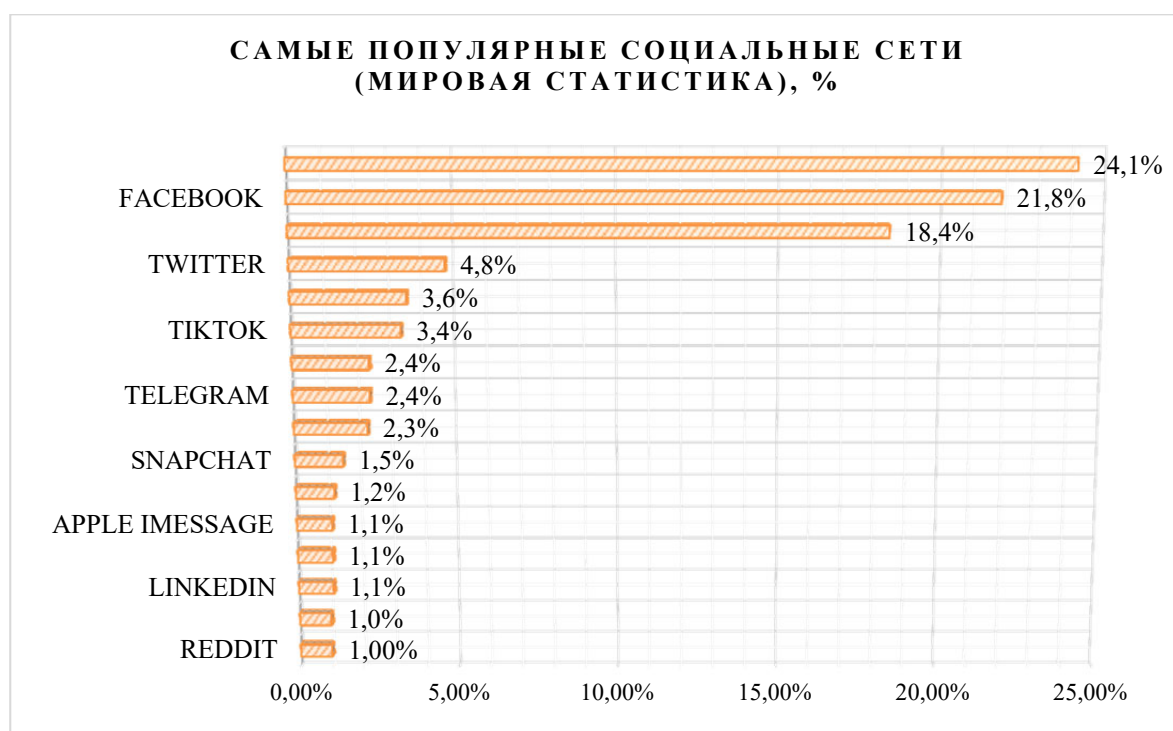


Рис. 3. Самые популярные социальные сети (мировая статистика), %

Как видно из рис. 3 – для злоумышленников есть огромное поле для действий. Естественно, люди не только общаются, используя печатный диалог, но и отправляют голосовые сообщения, тем самым подтверждая не только свою личность, но и передавая свои данные – свой биометрический голосовой отпечаток. В наше время, использование новых технологий злоумышленниками – естественное дело, с изменением мира и среды – адаптируется и человек. Уже на сегодняшний день существует возможность при помощи нейронных сетей формировать (клонировать) речь живого, существующего человека [7]. Вроде бы казалось, что ничего страшного нет в том, что такую технологию создала такая компания как Nvidia – никто не отменял утечку данных и неправомерное использование данной программы. Тем не менее, уже существует программа (нейронная сеть), которая позволяет не только использовать данное программное обеспечение в своих целях, но и находится в открытом доступе [9, 10]. Таким образом, раз распространение данного ПО неизбежно – необходимо определить модель действий возможного нарушителя.

Из-за того, что данное программное обеспечение создавалось для того, чтобы использовать голос знаменитых людей в играх или некоторых сценах – попав в руки к злоумышленнику возможна реальная угроза для обычного интернет-пользователя. Могут использоваться как безобидные методы, например, разыграть товарища или же создать собственную озвучку при повреждении голоса, при этом

существуют огромные риски использования данной программы для вымогательства, шантажа и дезориентации невинных пользователей.

Разберём три наиболее возможных ситуации как возможно получить исходные данные (см. рис. 4):

1. Социальная инженерия – при данном способе возможны различные воздействия на объект, при котором происходит добровольный сбор биометрического голосового отпечатка. Чаще всего жертвы сами идут на контакт, не понимая дальнейших действий злоумышленника.

2. Кибератака – при данном методе сбора голосовых отпечатков существует огромная вероятность взлома аккаунта с достаточным для синтеза речи (клонирования) речи биометрических данных. При взломе, например, WhatsApp, где пользователи имеют возможность отправлять голосовые сообщения данные могут собираться злоумышленниками. Для взлома могут применяться разные методы:

- Техническое воздействие – при данном типе взлома используется программные и аппаратные средства получения данных аккаунта;

- Социальный аспект – имеет место для человеческого фактора, при котором возможно использование случайных или направленных методов воздействия, с целью получения данных от аккаунта;

- Комбинированный – позволяет использовать два вышеперечисленных аспекта. Например, при социальном аспекте – возможно получение ФИО и номера телефона, а при

техническом – перебор пароля для доступа к аккаунту.

3. Прямое воздействие на объект – данный пункт следует отнести как к социальной инженерии,

так и к кибератакам, возможно использование физического воздействия. Данный метод является самым радикальным и самым действенным (явно неправомерным).

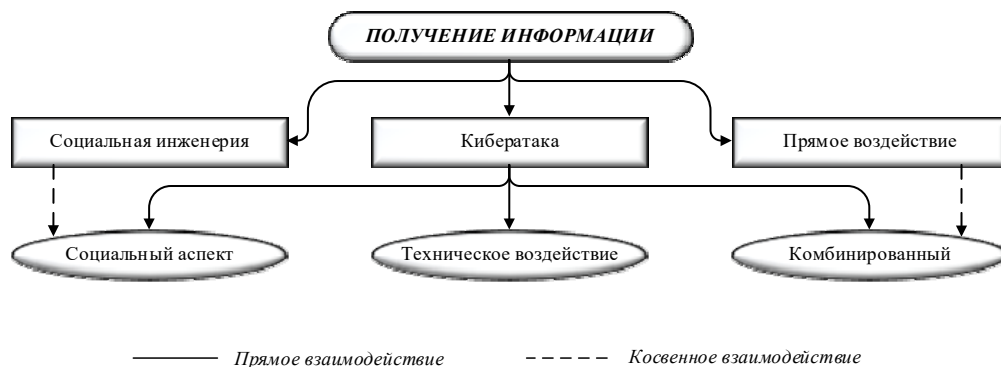


Рис. 4. Возможные методы получения биометрических данных интернет-пользователей

Как видно из рис. 4 – из самых действующих, но и в то же время наиболее рискованных методов получения данных является прямое воздействие. При данной модели нарушителя происходит излишний, неоправданный риск, хотя результат при таком алгоритме действий – положительный. Модель действий нарушителя в данном случае непредсказуема, т. к. является преднамеренной угрозой для объекта – возможны прямые и косвенные угрозы, а также физическое воздействие и запугивание (данные действия можно объяснить статьей УК РФ 119) [10].

В случае использования только социальной инженерии происходит безопасный процесс,

который возможно использовать эффективно только при близком контакте (обработка жертвы). Возможно получение данных случайным и преднамеренным способом. Также не исключена вероятность воздействия на объект при дистанционном контакте (соцсети, телефонный разговор). Злоумышленник может позвонить потенциальной жертве на телефон и попробовать «раскрутить» на случайный разговор. Главная угроза в данном методе – возможное получение информации путём психологического воздействия, при котором объект, сам того не понимая, помогает мошеннику собрать биометрические данные (см. рис. 5–6).

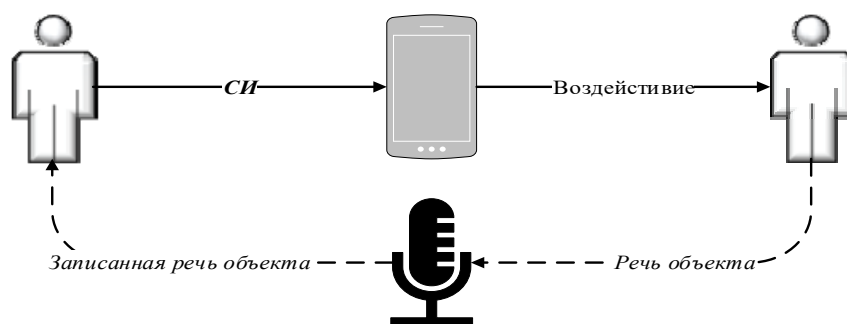


Рис. 5. Метод воздействия при социальной инженерии на объект (на длительном расстоянии)

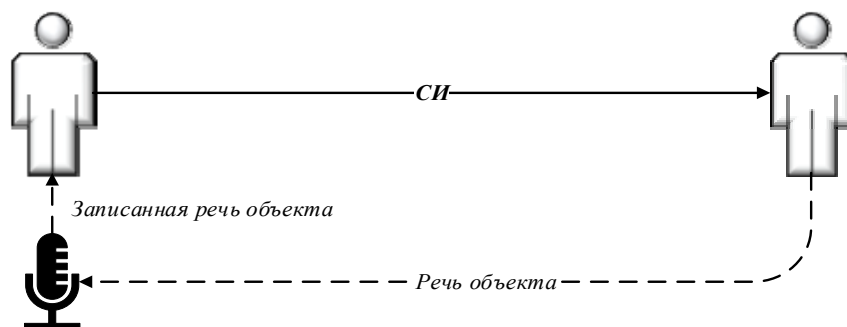


Рис. 6. Метод воздействия при социальной инженерии на объект (непосредственное воздействие)

Наиболее опасным методом воздействием является кибератака, которую можно разделить также на три основных способа воздействия (см. рис. 4). При использовании кибератак с использованием социальной инженерии существует угроза получения биометрического голосового отпечатка. При использовании данного развития действий злоумышленника – объект воздействия (потенциальная жертва) может просто не понимать,

что они же сами отдают свои данные злоумышленникам (см. рис. 7). Например, при использовании фишинг сайтов злоумышленник получает полный доступ к данным, также используется поддельное деловое письмо, подмена домена и прочие манипуляции, позволяющие злоумышленникам, при помощи технических ресурсов, получить данные [11–13].

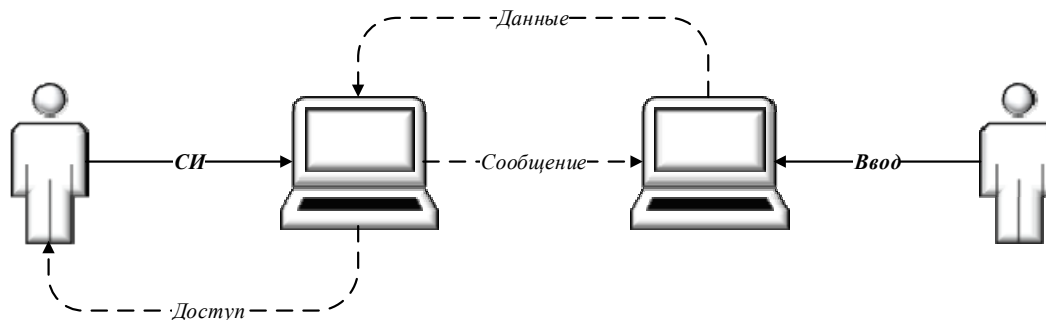


Рис. 7. Пример воздействия на объект с помощью фишинг-атак

Когда потенциальный объект введёт данные, злоумышленник получит полный доступ к аккаунту (почте), соответственно, к биометрическим голосовым отпечаткам. Данный способ воздействия до сих пор является наиболее актуальным в наше время. Решить полностью проблему не получится, но возможно предотвратить множество случаев при помощи цифровой грамотности населения.

Вторым возможным методом является «грубая» кибератака, с применением программной и аппаратной части. В данном случае злоумышленники просто перебирают логин и пароль [15], в данных случаях набирается база данных, по которой потом происходит сама работа. Данный метод воздействия эффективен в случаях слабого логина и пароля – решается при помощи генерации сложного (надёжного) пароля [16].

Самым опасным из данных методов является всё же комбинированный метод, который включает в себя два вышеперечисленных метода, соответственно, получая только плюсы от применения данной методики воздействия на объект.

В чём же заключается основная угроза использования и получения голосовых данных, при помощи комбинированного метода? В данном случае, у злоумышленников существует огромное поле для экспериментов, при работе как одного человека, так и группы лиц (у последних шансы успешной атаки намного выше). Например, при получении данных способом как социальной инженерии, так и прямого воздействия – необходимо локальное воздействие на объект (личный контакт), при использовании метода

кибератаки – все действия совершаются дистанционно. В первом случае, использовании тесного контакта с объектом оправдано, когда речь идёт о конкретной цели. Злоумышленникам, цель которых – заработок, необходимо воздействовать быстро, эффективно и без лишнего риска. Наиболее подходящая стратегия воздействия в данном случае – комбинированные кибератаки. В данных условиях злоумышленники имеют огромную вероятность достичь своих целей с минимальными усилиями.

Предположим, что уже есть все условия и данные, как тогда будут действовать злоумышленники? Зная круг общения (например, популярный мировой мессенджер WhatsApp), а также голосовые данные, имея переписку с родным и близким кругом общения, а также обладая техническими средствами – синтезирование речи, вероятная реализация многих мошеннических схем. Например, синтезировать речь объекта и от его имени (его же голосом) отправить голосовое сообщение с просьбой занять денежные средства и прочее (см. рис. 8).

Как видно из рис. 8, злоумышленниками происходит синтезирование речи (с заранее подготовленным текстом), затем отправляется запись всем близким объекта, естественная реакция не заставит себя долго ждать. Например, если в контактах объекта есть круг общения от 50+, то вероятность того, что кибератака сработает от 20 до 27% и это только стандартными методами воздействия на объект (указанные выше фишинг-атаки) [17].

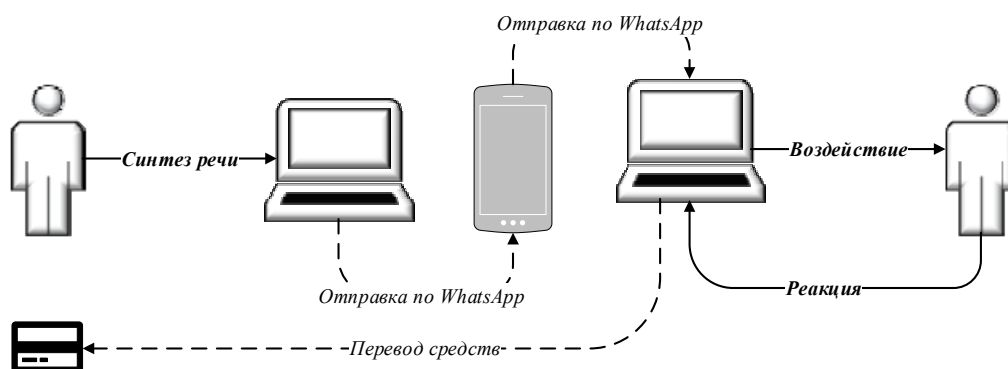


Рис. 8. Пример воздействия на объект с помощью фишинг-атак

Единственная угроза, которая заключается при условии синтеза речи – непредсказуемость возможных результатов. При анализе переписки, а также имея в вооружении синтез речи, возможно полностью имитировать речь человека. Естественно, что люди, которые услышат сообщение, захотят помочь. Кто-то попытается дозвониться, кто-то каким-то образом связаться – при удачном стечении

обстоятельств, злоумышленники могут затронуть все слои населения, независимо от возраста. Поэтому, наиболее важным является соблюдение трёх основных правил, которые могут помочь скорректировать негативные последствия данных методов воздействия на простых гражданах (см. рис. 9).

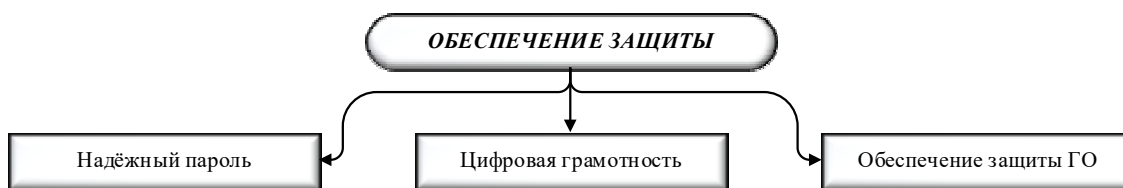


Рис. 9. Возможное обеспечение защиты от злоумышленника в цифровом пространстве

Необходимо использовать следующие методы защиты от данных угроз:

1. Надёжный пароль – самые простые, но в то же время самые банальные вещи, которые, практически во всех случаях взлома, не соблюдают. Возможно несколько вариантов – проверка пароля на надёжность постфактум (во время регистрации), чтобы дать каждому пользователю шанс защитить свои данные. А во втором случае – информирование населения о необходимости использования надёжных паролей;

2. Цифровая грамотность – повышение информирования населения о возможных мошеннических схемах обусловлена тем, что именно данные сведения «открывают» глаза, как показывает практика около 7% населения РФ, предотвращая достаточное количество кибератак. Естественно, данная мера является добровольной – кто-то будет выполнять данные рекомендации (будет понимать, что есть такая угроза и что необходимо делать, если стал объектом воздействия мошенников). При цифровой грамотности население сможет находить настоящие сайты, без угрозы своих сведений, не переходить в подозрительные

источники. Всё это благополучно скажется для цифровой безопасности всех граждан.

3. Обеспечение защиты биометрических голосовых данных – данный пункт является простым, но в то же время эффективным методом защиты. К сожалению, именно данный этап пока никаким образом нельзя исправить, возможно только предположить каким образом возможно устранить данную утечку. В первом случае необходимо устранить утечку со стороны backend-части, где аудиофайлы будут шифроваться. Каждый аудиофайл необходимо зашифровать персональным ключом. Это необходимо для обеспечения защиты на серверном уровне. Во втором случае необходимо обеспечить защиту данных, при котором будут шифроваться сами аудиофайлы со стороны клиента. Достичь это можно различными способами. Например, при использовании кода для доступа к чату, возможно без шифрования предотвратить угрозу доступа к конкретному чату (см. рис. 10). Также возможен вариант шифрования каждого чата, т. е. при отправке аудиофайла одному пользователю, при пересылке сообщения в другой чат будут шумы, которые никаким образом нельзя будет обнаружить (см. рис. 11).

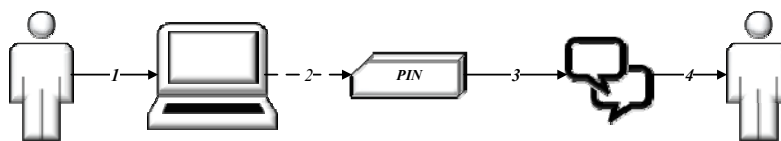


Рис. 10. Пример защиты биометрических голосовых отпечатков и данных переписки, при помощи PIN-кода для чатов

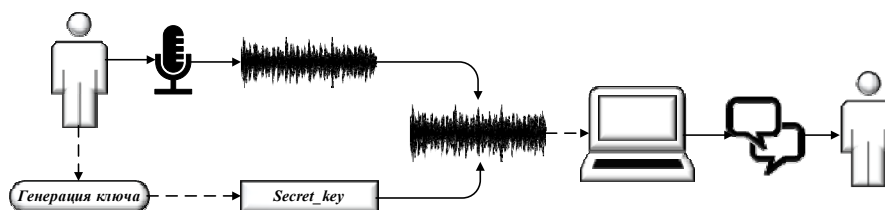


Рис. 11. Пример защиты биометрических голосовых отпечатков, при помощи шифрования аудиофайлов с помощью секретного ключа

**Результаты исследований.** В результате проведённой работы, были получены следующие результаты – использование эффективных и перспективных методов комплексной защиты биометрического голосового отпечатка от кибермошенников. Выявлена закономерность между существующими мерами защиты населения от злоумышленников, а также возможные действия (воздействие) на объекты при помощи синтезирования речи. Были рассмотрены методы получения информации различными способами, определили какие являются наиболее эффективным в настоящее время.

При анализе угроз были предложены методы борьбы, которые должны обеспечить защиту на тех этапах, которые мошенники чаще всего обрабатывают жертв: составление надёжного пароля; цифровая грамотность населения; обеспечение биометрических голосовых отпечатков. Определили, что первые два пункта являются эффективными, но мало используется добровольно пользователями, в последнем пункте определена неизвестность эффективности использования данного метода, который должен обеспечивать дополнительную защиту данных.

При использовании результатов жбанных работ возможно составить полную комплексную систему обеспечения защиты как биометрических голосовых данных, так и доступа к данным интернет-пользователей. При использовании подхода, который включает в себя большее обеспечение защиты – страдает один из следующих ресурсов: быстродействие или упорядоченность. Если с быстродействием понятно (этот параметр определяет насколько всё быстро в системе работает), то при использовании упорядоченности – нет. Упорядоченность может возникать в том случае, когда требуется правильно («красиво») написать код, составить микросхему и прочее. При хорошем коде и быстрой работе – безопасность стремиться к нулю. Поэтому при безопасности разработчикам приходится выбирать между быстродействием и упорядоченностью. Конечно, в перспективе развития

необходимо жертвовать быстродействием, т. к. существует огромная вероятность в дальнейшем просто запутаться в своём же коде (данный аспект может послужить дальнейшей утратой самой системы).

Поэтому новые угрозы должны быть рассмотрены, также в перспективе развития – должны быть возможные предложения, что и указано в данной статье, а также, конечно, реализация и проверка в условиях суровой реальности данных методов и предложений.

**Выводы.** Благодаря развитию технологий и доступности информации возникает Парадокс Джевонса [18], при котором сам технологический прогресс, который должен приносить больше пользы – приносит больше негативных ситуаций. С использованием речи мир стал удобнее и понятнее – легче общаться на расстоянии, доносить необходимые сведения, но есть и негативный эффект – использование этих данных злоумышленниками в своих целях. Также появились и технологии имитации (синтеза) голоса пользователей, которые позволяют озвучивать игры реальным голосами популярных личностей, а также упрощать процесс озвучивания многих моментов в данной индустрии. Так как и в первом случае – есть обратный эффект, открытость данного программного обеспечения и относительная доступность мощных аппаратных средств (видеокарт, процессоров) создают новые предпосылки для новых моделей угроз, которые позволяют получать колоссальные заработки и порождение преступности в цифровом пространстве, которого даже никто не ожидал.

При использовании комплексной защиты и методов устранения данных – есть огромная вероятность «усмирить» мошенническую деятельность и, если вовсе не убрать, то предотвратить многие случаи преступной деятельности, а также контролировать дальнейший рост и манипуляции со стороны злоумышленников. Данный анализ полезен для дальнейших действий, которые позволят создать полноценную комплексную систему защиты как

биометрических голосовых отпечатков, так и защиту самих данных пользователей. Если вовремя не предотвратить обнаруженные угрозы, которые пока ещё на стадии формирования, то мы получим эффект Домино [19], при котором направленные действия злоумышленников приведут к тому, что киберпреступность возьмёт верх своего апогея в статистических данных за все года.

«Машину обмануть нельзя, а человека можно» — именно данное выражение может разобрать подход злоумышленников (потенциальных преступников), которые при помощи технической части (машины) могут воздействовать на любого человека.

### Л и т е р а т у р а

1. Число кибератак выросло на 50% в 2021 году | Hi-Tech | Селдон Новости (myseldon.com) (URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/265280196>)
2. <https://cpa.rip/stati/digital-2021-april/>
3. Социальная инженерия — все еще любимый инструмент хакеров. Как обезопасить себя от взлома? (intersvyaz.media)
4. Социальная инженерия остается главной угрозой для финансовой кибербезопасности, но ее доля в общем объеме хищений падает | Банк России (cbr.ru) (<https://cbr.ru/press/event/?id=9746>)
5. Digital 2021 April Global Statshot Report <https://datareportal.com/reports/digital-2021-april-global-statshot>
6. Worldometers WORLD POPULATION <https://www.worldometers.info/ru/>
7. TechCrunch+ | NVIDIA's latest tech makes AI voices more expressive and realistic URL: <https://techcrunch.com/2021/08/31/nvidias-latest-tech-makes-ai-voices-more-expressive-and-realistic/?tpcc=ECTW2020>
8. Голосовой DeepFake, или Как работает технология клонирования голоса (proglib.io) (URL: <https://proglib.io/p/golosovoy-deepfake-ili-kak-rabotaet-tehnologiya-klonirovaniya-golosa-2019-12-11>)
9. [1806.04558] Transfer Learning from Speaker Verification to Multispeaker Text-To-Speech Synthesis (arxiv.org) (URL: <https://arxiv.org/abs/1806.04558>)
10. Уголовная ответственность по ст.119 УК РФ: правовые последствия, результат практики раскрытия преступления (xn--blaew-xn--plai) (URL: <https://xn--claid4a5e.48.xn--blaew-xn--plai/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/news/item/23100132/>)
11. Фишинг — что это и как защититься | Блог Касперского (kaspersky.ru) (URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/how-to-avoid-phishing/5411/>)
12. 10 типов фишинг-атак и схем <https://www.emaross.ru/blog/zashchita-sayta-ssl/10-tipov-fishing-atak-i-skhem/>
13. Digital Sharks – Уловки хакеров. 17 примеров фишинга URL: <https://digitalsharks.ru/blog/ulovki-hakero-17-primerov-fishinga/>
14. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Цифровая грамотность URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/540/>
15. Что такое брутфорс (brute force attack) - подробный анализ URL: [https://www.internet-](https://www.internet-technologies.ru/articles/newbie/brute-force-podrobnyy-analiz.html)

[technologies.ru/articles/newbie/brute-force-podrobnyy-analiz.html](https://www.internet-technologies.ru/articles/newbie/brute-force-podrobnyy-analiz.html)

16. Надежные пароли: как их создать и чем они полезны? | Лаборатория Касперского (kaspersky.ru) URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/how-to-create-a-strong-password>

17. ЦБ составил портрет типичных пострадавших от действий злоумышленников, похищающих деньги со счетов URL: Изображали жертву: в 47% случаев кибермошенники обманывают людей старше 50 лет | Статьи | Известия (iz.ru) (<https://iz.ru/1140892/annakaledina/izobrazili-zhertvu-v-47-sluchaev-kibermoshenniki-obmanyvaiut-liudei-starshe-50-let>)

18. Парадокс Джевонса URL: Парадокс Джевонса — Википедия (wikipedia.org)

19. Теория Домино URL: Теория домино — Википедия (wikipedia.org)

20. Маслова М.А., Рыжая К.Ю. Интернет мошенничество как угроза информационной безопасности личности // НБИ технологии. 2019. Т. 13. № 2. С. 25-28.

**Gerasimov V.M., Maslova M.A.**

### THE NEED FOR A COMPREHENSIVE SYSTEM TO PROTECT THE BIOMETRIC VOICE FINGERPRINT FROM THE EFFECTS OF CYBERCRIMINALS ON THE INTERNET

*To date, the urgency of the problem of biometric data protection comes to the fore. There are many ways to use biometric data for their own purposes, especially the protection of users' voice fingerprints. Their use is possible for different purposes, and the ease of use allows you to get huge opportunities and directions. If a set of measures is not implemented, you may face a global problem of both voice identification and problems related to the criminalistic actions of scammers in social networks. The reasons for this phenomenon, the elimination and the need to solve this issue will be considered in this article.*

**Keywords:** biometric voice fingerprint, speech synthesis, cyberbullying.

**Герасимов Виктор Александрович**, студент четвертого курса кафедры «Информационная безопасность» ФГАОУВО СевГУ, г. Севастополь, РФ.  
**E-mail:** my.virus.kaspersky@gmail.com,

**Gerasimov Viktor Aleksandrovich**, fourth-year student of the Department of Information Security FSAEI OF HE "SEVASTOPOL STATE UNIVERSITY".

**Маслова Мария Александровна**, аспирант, старший преподаватель кафедры «Информационная безопасность» ФГАОУВО СевГУ, г. Севастополь, РФ.  
**E-mail:** mashechka-81@mail.ru

**Maslova Maria Alexandrovna**, Postgraduate Student, Senior Lecturer, Department of Information Security FSAEI OF HE "SEVASTOPOL STATE UNIVERSITY".

**Рецензент: Ермак Василий Петрович**, д.т.н., доцент профессор кафедры «Пожарная безопасность» ГОУ ВО ЛНР «Луганский университет имени Владимира Даля».

Статья подана 15.05.2022

УДК 004.4-047.44:[004.738:62]

**РАМКИ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ИНДУСТРИИ 4.0****Дяченко С.В., Гвоздюкова С.Н.****CYBERSECURITY FOR THE INTERNET OF THINGS IN INDUSTRY 4.0****Dyachenko S.V., Hvozdiukova S.N.**

*В статье представлены результаты тематического исследования, в котором проводится обзор научной литературы, а именно приводится характеристика основных трендов Индустрии 4.0, а также системы и модели рисков информационной безопасности. Хотя в промышленности и научных кругах существует большой интерес к стандартизации существующих систем, моделей и методологий информационных рисков, попытка объединить эти подходы до сих пор не предпринималась. В статье предлагается новая архитектура интеграции рассмотренных систем, моделей и методологий. Таким образом, мы предлагаем лучшее понимание целостной модели оценки экономического воздействия от реализации риска информационной безопасности IoT.*

**Ключевые слова:** Индустрия 4.0, Интернет вещей (IoT), кибербезопасность, риск информационной безопасности, IIC, DCMS, IVI, NTI.

**Введение.** Термин «Интернет вещей» (IoT) обычно относится к подключенным к сети киберфизическим устройствам, которые могут общаться и обмениваться данными в различных ограниченных условиях. Интеграция IoT-устройств и технологий кибербезопасности в коммуникационные сети критической инфраструктуры серьезно повышают риск безопасности и вызывают важные этические проблемы, такие как доверие и конфиденциальность.

Эта проблема связана с необходимостью для различных вертикалей IoT разработать надежные системы кибербезопасности для предотвращения злоупотреблений в результате злонамеренного вмешательства, в том числе со стороны организованной преступности. Анализ полного экономического воздействия компрометации данных позволит провайдерам создать четкие, строгие, принятые в отрасли механизмы измерения, контроля, анализа, распространения и управления критическими данными, необходимыми для разработки, развертывания и эксплуатации экономически эффективной кибербезопасности критической инфраструктуры.

**Цель данного исследования** – проанализировать новые принципы проектирования для оценки киберриска IoT в контексте Индустрии 4.0 (I4.0).

**Изложение основного материала.** Опишем конкретные направления проектирования для оценки экономического воздействия киберрисков IoT, а именно: кибертренды I4.0 (IIC, DCMS, IVI, Industrie

4.0, NTI), фреймворки рисков (FAIR, CMMI, CVSS, ISO, NIST, Octave и TARA) и их модели (RiskLense и Cyber VaR). Комплексный анализ направлений и принципов способствует адаптации существующих моделей и методологий к интегрированной оценке экономического воздействия.

В процессе всестороннего обзора литературы, посвященного тому, как повышение кибербезопасности в системах IoT может минимизировать проблемы безопасности и защиты, а также повысить надежность, этическую приемлемость и доверие в этом пространстве, нами описан принцип оптимизации карты кибербезопасности IoT и оценки связанного с ней экономического воздействия.

Основными результатами исследования являются актуальный обзор существующих и новых достижений IoT в области Индустрии 4.0 (I4.0), которая включает киберфизические системы, Интернет вещей, облачные вычисления и когнитивные вычисления, а также адаптация лучших практик кибербезопасности в промышленности.

Практическое применение проекта Индустрия 4.0 привело к смещению интереса с теоретических стандартов в сторону анализа и управления появившихся в процессе развития киберрисков. Появляются новые наборы методик, которые подразумевают противопоставление национальных политик и усилий по стандартизации. Поэтому далее рассмотрим инициативы I4.0 в контексте основных усилий в области стандартов и управления, например, Национального института стандартов и технологий (NIST) и факторного анализа информационных рисков (FAIR).

Чтобы составить карту развития Интернета вещей (IoT) и связанных с ним киберрисков для сектора «Индустрия 4.0», мы соотнесли семь киберрисков с кибертенденциями I4.0. К этим фреймворкам относятся: FAIR, CMMI, CVSS, ISO, NIST, Octave и TARA. Указанные семь систем связаны с оценкой общих киберрисков. Данный подход направлен на выявление соответствующих аспектов киберрисков IoT. Для улучшения принципов проектирования и расчета экономического воздействия киберрисков IoT необходимо сравнить существующие меры и стандарты кибербезопасности (например, системы кибербезопасности FAIR и NIST).

Рассмотрим основные кибертренды в контексте Индустрии 4.0.

ПС (Консорциум промышленного Интернета) продвигает концепцию полностью подключенной и автоматизированной производственной линии, которая вводит клиента в производственный процесс в качестве лица, принимающего решения, с возможностью корректировать свои предпочтения во время производства. Кроме того, ПС поддерживает высокоавтоматизированные (механизмы правил, защитные отмены) и управляемые человеком (визуализация, контроль вмешательства) среды использования. ПС продвигает платформы облачных вычислений и планы аварийного восстановления.

DCMS. В последнем отчете DCMS (Министерство культуры, СМИ и спорта Великобритании) [1] большое внимание уделяется интеграции облачных технологий в I4.0. Однако если некоторые инициативы подкреплены прямыми примерами реализации стратегии (например, облачные центры обработки данных от Amazon, IBM и Microsoft, или инициатива облачных технологий для обучения государственных служащих цифровым навыкам), то другие инициативы не имеют четкого определения. В некоторых случаях это может быть полезно, поскольку нечетко определенные стандарты обеспечивают гибкость в развитии по мере изменения требований. Тем не менее, практические реализации показывают, что для интеграции IoT в I4.0 требуется конкретная область фокусировки.

Основная область, вызывающая озабоченность в DCMS (2016), заключается в том, что в нем нет руководства по аварийному восстановлению. Отчет сильно сфокусирован на активной киберзащите и общей защите данных клиентов, но игнорирует другие ключевые риски, такие как риски неожиданных сбоев, для которых восстановление имеет решающее значение, поскольку такие сбои невозможно предвидеть заранее.

IVI. В недавно принятой инициативе Industrial Value Chain Initiative (IVI) [2], [3] не сообщается о конкретных планах для встроенных систем реального времени или планах аварийного восстановления.

Industrie 4.0. Немецкая инициатива Industrie 4.0 [4] продвигает интеграцию облачных вычислений с Интернетом услуг и предлагает облачные сети безопасности, но не сообщает о планах восстановления.

NTI. Инициатива NTI [5] представляет собой довольно долгосрочный прогноз для IoT и I4.0 и фокусируется на создании рыночных сетей. Этот тренд вносит новый вклад в I4.0, утверждая, что создание рынка для новых технологий является ключом к будущему бизнесу и интеграции цепочек поставок в I4.0. Однако прогноз NTI не оценивает проблемы облачных сетей реального времени и, что особенно важно, не дает предложений по механизмам аварийного восстановления.

Таким образом, анализ различных подходов показывает, что глобальное совместное использование

существующих трендов различных организаций позволит снизить затраты и ускорить процесс вывода продукции на рынок. Глобальный обмен также необходим для ключевых рынков Интернета вещей, что актуализирует ключевой пункт политики инициативы G20 по либерализации торговли [6].

Второй постулат инициативы G20 (отмена субсидий) несколько запутан. Хотя существует убедительный аргумент в пользу отмены субсидий в традиционных отраслях, концепция I4.0 требует технологий, которые все еще находятся на начальной стадии исследований и разработок. Экономическая политика диктует, что вновь появляющиеся отрасли нуждаются в государственной поддержке, следовательно, развивающиеся цифровые технологии также нуждаются в государственной поддержке. С другой стороны, руководящий принцип NTI [5] по сосредоточению на развитии рынка призван существенно сократить любое финансовое участие государства. Политический подход NTI отвечает второму ключевому пункту политики G20 «устранение субсидий» [6]. Наиболее тревожным выводом из исследования является отсутствие ясности в отношении планов восстановления после стихийных бедствий и других форс-мажоров. Планирование аварийного восстановления несколько размыто, и это вызывает озабоченность, поскольку в литературе этому вопросу уделяется большое внимание.

Ключевая часть понимания рисков и проблем, стоящих перед IoT и I4.0, включает в себя анализ стандартов и моделей, существующих сегодня [7]. Далее мы рассмотрим семь систем и две модели риска информационной безопасности.

Факторный анализ информационного риска (FAIR) [8] продвигает стандартную количественную модель операционного риска и информационной безопасности. На практике FAIR представляет собой структуру измерения и анализа информационного риска в финансовых терминах. Модель FAIR дополняет существующие системы рисков и использует положения количественных моделей, таких как RiskLens [9] и Cyber VaR [10].

Далее рассматривается комплексная модель производительности и зрелости (CMMI) [36]. CMMI объединяет пять уровней оригинальной модели Capability Maturity Model (CMM) [11]. Однако эта модель не предоставляет руководства по планированию аварий и восстановления.

Общая система оценки уязвимостей (CVSS) [12] представляет собой «модифицированные базовые метрики» для присвоения метрических значений реальным уязвимостям. Модифицированные базовые метрики – это группа уязвимости (низкая, средняя, высокая, критическая), связанная с математической аппроксимацией комбинаций метрик, расположенных в порядке возрастания серьезности. CVSS работает над сбором стандартов, рекомендаций и практик, которые эффективно работают в промышленности.

Международная организация по стандартизации (ISO) [13] является международным органом,

устанавливающим стандарты. ISO 27032 – это основа для сотрудничества, которая содержит конкретные рекомендации по кибербезопасности. ISO 27001 устанавливает требования к организациям по созданию системы управления информационной безопасностью (ISMS). Примечательный для данного обсуждения стандарт ISO 27031, который содержит рекомендации по аварийному восстановлению. В других системах и моделях киберрисков собраны выводы из концепции ISO.

Концепция кибербезопасности Национального института стандартов и технологий (NIST, 2014) [14] организует деятельность по обеспечению кибербезопасности по пяти категориям: идентификация, защита, обнаружение, реагирование и восстановление. Категория восстановления отличает эту систему от всех других систем. Концепция NIST признает важность процедуры аварийного восстановления и предлагает разрабатывать, внедрять и поддерживать планы своевременного восстановления любых возможностей или услуг, которые были нарушены в результате кибератаки.

Еще одним подходом является подход Octave, который расшифровывается как метод оперативной оценки важных угроз, активов и уязвимостей [15]. Это качественный метод измерения киберриска с помощью создания экспертной группы. Группа анализа включает сотрудников бизнес-подразделений, эксплуатирующих систему, и сотрудников информационного отдела. Метод Octave рекомендует три уровня восстановления (низкий, средний, высокий), но не предоставляет количественного метода для расчета необходимого уровня восстановления. Следовательно, метод Octave можно рассматривать как руководство для исследователей, измеряющих риски информационной безопасности.

Анализ оценки и устранения угроз (TARA) [16] – это качественная аналитическая модель, которая использует матрицу угроз и стандартизированный шаблон для регистрации системных угроз. TARA способствует и в некоторой степени облегчает определение соответствующих вариантов восстановления, но не позволяет количественно оценить влияние киберрисков, что крайне важно для принятия решения о соответствующем планировании восстановления.

Проведя поверхностный анализ, можно сделать следующие выводы:

- FAIR продвигает количественный, основанный на риске, приемлемый уровень подверженности потерям;
- CMMI и CVSS не обсуждают планирование аварий и восстановления;
- ISO продвигает стандарт для аварийного восстановления;
- NIST является наиболее продвинутой структурой управления авариями и восстановлением; дает рекомендации по планированию, улучшению и коммуникациям;

– Octave разработал стандартизированный вопросник для изучения и классификации областей воздействия восстановления;

– TARA продвигает и облегчает восстановление систем, но не предоставляет подробную методологию планирования аварий и восстановления.

Помимо этих вопросов, исследования выявили и другие проблемы в принятии существующих систем киберрисков для динамичных и связанных систем, где IoT представляет большие сложности. Например, высокая степень связанности в соединении цифровых, киберфизических и социальных систем [17].

Следующим этапом исследования является сравнение двух количественных моделей риска – RiskLens и Cyber VaR.

Две модели оценки киберрисков, продвигаемые Всемирным экономическим форумом (Cyber VaR) и институтом FAIR (RiskLense), анализируются для сравнения сходств и различий. Эти два подхода выбраны для сравнения, поскольку оба продвигаются в качестве стандартизированных количественных эталонных моделей для оценки рисков информационной безопасности.

Основное различие между двумя моделями заключается в том, что RiskLense использует распределение BetaPERT [9], а Cyber VaR основана на модели Value at Risk [10]. Обе модели используют моделирование Монте-Карло для оценки киберриска с минимальным набором данных, и обе модели сосредоточены на подверженности убыткам, частоте событий убытка и уязвимости. Обе модели не оценивают точную стоимость восстановления, но для целей киберстрахования подверженность убыткам и частота событий убытка могут быть использованы для расчета потенциальной стоимости восстановления.

Проанализировав изложенные подходы, инициативы и модели, мы предлагаем новый набор принципов проектирования для оценки киберриска от интеграции IoT в I4.0. Тематическое исследование IoT в I4.0 показывает, что тенденции I4.0 не позволили реализовать планирование восстановления в ведущих национальных инициативах. Это противоречит выводам второго анализа ведущих систем риска информационной безопасности, где планированию восстановления уделяется большое внимание (см.: ISO, FAIR, NIST, Octave, TARA). Похоже, что ведущие национальные инициативы I4.0 игнорируют рекомендации ведущих мировых систем киберрисков.

**Результаты исследования.** Новая модель для IoT в I4.0 должна, во-первых, учитывать выводы из тенденций I4.0, во-вторых, рекомендации ведущих систем рисков. Для определения стоимости планирования восстановления или стоимости киберстрахования необходима новая количественная модель, которая будет применима к рискам информационной безопасности IoT.

Объединяющим звеном между моделями киберриска RiskLens и Cyber VaR является применение имитационного моделирования Монте-Карло для прогнозирования неопределенности киберриска.

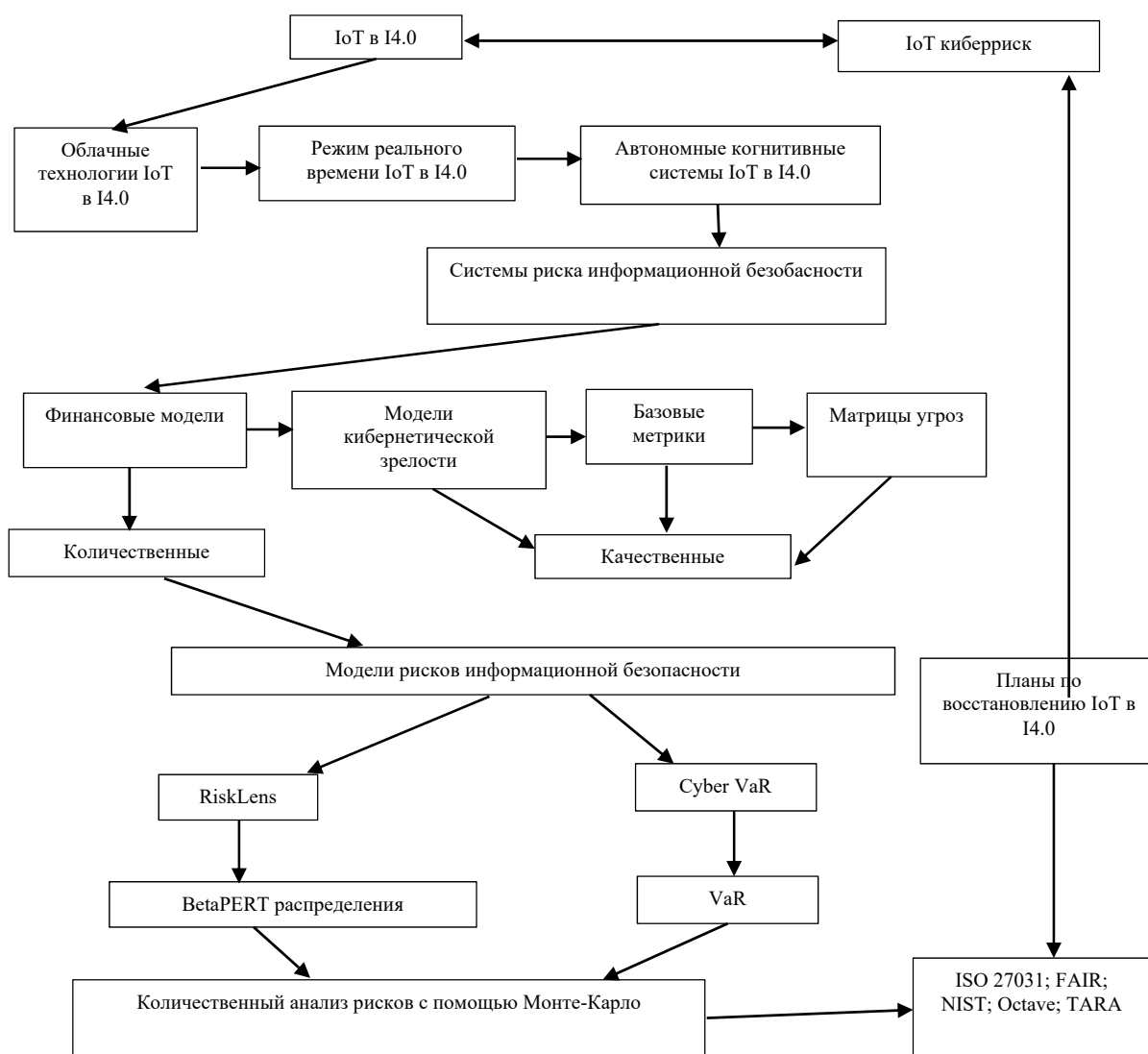


Рис. 1. Принципы проектирования системы для оценки киберрисков IoT в I4.0

Из примера видно, что новая модель оценки воздействия киберрисков от интеграции IoT в I4.0 должна начинаться с рекомендаций RiskLense и Cyber VaR. Применение моделирования Монте-Карло позволит снизить неопределенность риска IoT и даст возможность приближенно оценить экономическое воздействие риска от устройств IoT. Такой расчет позволит компаниям разработать соответствующее планирование восстановления, а страховой индустрии – обеспечить более реалистичную стоимость киберстрахования.

Обоснование предлагаемых принципов проектирования заключается в том, что без соответствующего планирования восстановления экономическое воздействие может быть неправильно рассчитано, что приведет к большим потерям, чем предполагается изначально. Принципы проектирования, представленные на рис. 1, разработаны для продвижения существующих усилий и трендов по разработке стандартизированного количественного подхода для оценки воздействия рисков информационной безопасности.

Объем данных, генерируемых устройствами IoT, создает разнообразные проблемы в различных вертикалях (например, машинное обучение, этика, бизнес-модели). Одновременно проектирование и создание архитектуры кибербезопасности для сложных взаимосвязанных систем IoT при понимании экономических последствий требует новых смелых решений для оптимизации и принятия решений [17]. Большая часть исследований ориентирована на применение и по умолчанию является междисциплинарной, что требует проведения гибридных исследований в различных академических областях. Это позволило разработать архитектуры кибербезопасности, включающие оценку экономического воздействия в вертикалях IoT, которые отвечают требованиям общественной приемлемости, стандартам безопасности и юридическому контролю.

**Выводы.** Таким образом, в данной работе объединяются постулаты существующей литературы с целью выведения общих подходов и включения существующих стандартов. Это приводит к

отображению существующих инициатив, рамок и методов оценки воздействия киберриска. В результате был разработан новый набор принципов проектирования, подкрепленный новым набором критериев проектирования, специфичных для риска от IoT. Предлагаемые идеи проектирования представляют собой рекомендации по улучшению восстановления кибербезопасности. Такой подход позволит визуализировать риск IoT. Новые принципы проектирования отображают взаимодействие между различными факторами в устройствах IoT и выводят новые наборы критериев оценки кибербезопасности. Описанный здесь метод оценки может быть использован для подсчета экономического воздействия IoT и выработки рекомендаций для IoT-устройств. Принципы проектирования также актуальны для национальных и международных сетей I4.0, в частности, для планирования аварийного восстановления и анализа страхового риска.

### Л и т е р а т у р а

1. DCMS, «UK Digital Strategy 2017 – GOV.UK; Department for Culture, Media and Sport» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gov.uk/government/publications/uk-digital-strategy/uk-digital-strategy> (дата обращения: 10.02.2022).
2. IVI, «Industrial Value Chain Reference Architecture; Industrial Value Chain Initiative» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://files.messe.de/abstracts/75738\\_Industrial\\_Value\\_Chain\\_Reference\\_Archite.pdf](http://files.messe.de/abstracts/75738_Industrial_Value_Chain_Reference_Archite.pdf) (дата обращения: 12.02.2022).
3. IVI, Industrial Value Chain Initiative, «An Outline of Smart Manufacturing Scenarios 2016» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.aii-alliance.org/upload/202006/0611\\_145334\\_297.pdf](https://www.aii-alliance.org/upload/202006/0611_145334_297.pdf) (дата обращения: 12.02.2022).
4. Wahlster W. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 / W. Wahlster, J. Helbig, A. Hellinger, M. A. V. Stumpf, J. Blasco, H. Galloway, H. Gestaltung. – Federal Ministry of Education and Research, 2013. – 84 p.
5. National Technology initiative, Agency for Strategic Initiatives Government of Russia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://asi.ru/eng/nti/> (дата обращения: 12.02.2022).
6. G20 New Industrial Revolution Action Plan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mofa.go.jp/files/000185873.pdf> (дата обращения: 10.03.2022).
7. Radanliev P. Economic impact of IoT cyber risk - analysing past and present to predict the future developments in IoT risk analysis and IoT cyber insurance in Living in the Internet of Things: Cybersecurity of the IoT / P. Radanliev, D. De Roure, S. Cannady, R. M. Montalvo, R. Nicolescu, and M. Huth. – London, 2018. – 740 p.
8. FAIR, Quantitative Information Risk Management | The FAIR Institute Factor Analysis of Information Risk. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fairinstitute.org> (дата обращения: 20.02.2022).
9. RiskLens, Risk Analytics Platform | FAIR Platform Management [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.risklens.com/platform> (дата обращения: 26.12.2021).
10. FAIR, What is a Cyber Value-at-Risk Model [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fairinstitute.org/blog/what-is-a-cyber-value-at-risk-model> (дата обращения: 15.02.2022).
11. U.S. Department of Energy, Cybersecurity Capability Maturity Model (C2M2) | Department of Energy. – Washington: DC, 2014. – 85 p.
12. CVSS, Common Vulnerability Scoring System SIG / FIRST.org [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.first.org/cvss/> (дата обращения: 05.03.2022).
13. ISO, ISO – International Organization for Standardization, 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/home.html> (дата обращения: 05.03.2022).
14. NIST, Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity, 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/cswp/nist.cswp.04162018.pdf> (дата обращения: 01.03.2022).
15. Caralli R. A. Introducing OCTAVE Allegro: Improving the Information Security Risk Assessment Process / R. A. Caralli, J. F. Stevens, L. R. Young, and W. R. Wilson. – Hansom AFB: MA, 2007.
16. Wynn J. Threat Assessment & Remediation Analysis (TARA) Methodology Description Version 1.0 / J. Wynn, G. Whitmore, L. Upton, D. Spriggs, R. McKinnon, R. McInnes, L. Graubart, and J. Clausen. – Bedford: MA, 2011.
17. Nurse J. Security Risk Assessment in Internet of Things Systems / J. Nurse, S. Creese, and D. De Roure // IT Prof., 2017, vol. 19, no. 5, pp. 20-26.

**Dyachenko S. V., Hvozdiukova S. N.**

### CYBERSECURITY FOR THE INTERNET OF THINGS IN INDUSTRY 4.0

*This article presents the results of a case study that reviews the scientific literature, namely characterizing the main trends of Industry 4.0, as well as information security risk systems and models. Although there is great interest in industry and academia to standardize existing information risk systems, models and methodologies, no attempt has yet been made to integrate these approaches. This article proposes a new architecture for integrating the systems, models, and methodologies considered. Thus, we propose a better understanding of a holistic model for assessing the economic impact from the implementation of information security risk IoT.*

**Keywords:** Industry 4.0, Internet of Things (IoT), cybersecurity, information security risk, IIC, DCMS, IVI, Industrie 4.0, NTI, FAIR, CMMI, CVSS, ISO, NIST, Octave, TARA, RiskLense, Cyber VaR.

**Дяченко Светлана Владимировна**, к.п.н. доцент кафедры «Информационные образовательные технологии и системы» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск.

**E-mail:** dsv-selen@mail.ru

**Dyachenko Svetlana Vladimirovna**, Associate Professor, Department of Information Educational Technologies and Systems, Luhansk State Pedagogical University, Luhansk.

**Гвоздюкова Светлана Николаевна**, ассистент кафедры «Информационные образовательные технологии и системы» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск.

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

**Hvozdiukova Svetlana Nikolaevna**, Assistant of the Chair, Department of Information Educational Technologies and Systems, Luhansk State Pedagogical University, Luhansk.

**Рецензент: Ермак Василий Петрович**, профессор кафедры «Пожарная безопасность» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени В. Даля», г. Луганск.

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 004.056.5

## **ОЦЕНКА ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ДАННЫХ СИСТЕМ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ**

**Орешкин М.В., Денисенко И.А., Ермак В.П., Малкин В.Ю., Панков А.А.**

## **EVALUATION OF THE PROBLEM OF PROTECTION OF TELECOMMUNICATION DATA OF REMOTE MONITORING AGRICULTURES SYSTEMS OF THE FIRE SAFETY OF OBJECTS AND WAYS OF INCREASING ITS CYBER SECURITY**

**Oreshkin M., Denisenko I., Ermak V., Malkin V., Pankov A..**

*В состоянии на сегодняшний день, проблема защиты телекоммуникационных данных в ходе радио или проводного обмена между средствами удаленного мониторинга состояния пожарной безопасности объектов народного хозяйства является актуальной.*

*В современной гибридной войне атакам подвергаются не только физические объекты сторон конфликта, но и используются методы ведения так называемой «информационной войны» которые рассчитаны на запугивание, искажения и введение в заблуждение людей, а так же искажения цифровых данных работы систем мониторинга, телекоммуникаций и объективного контроля систем анализа данных в реальном времени, в том числе связанных с мониторингом обстановки системами поиска и выявления противника.*

*Разработке и анализу методов противодействия перехвату и защите телекоммуникационных цифровых каналов связи рассматривается в приведенной статье.*

**Ключевые слова:** *система защиты телекоммуникационных данных с диалоговым кодом, взломзащищенность цифровых систем связи применяемым в телекоммуникационном оборудовании мониторинга пожаров.*

**Введение.** В современном мире тотального присутствия цифровых и информационных технологий важным способом снижения эффективности цифровых систем является вмешательство в существующие системы передачи цифровых данных, к которым можно отнести перехват данных, а так же сознательное внесение посторонних вредоносных данных в системы мониторинга состояния объектов пожарной обстановки реального времени или периодического действия.

В связи с резким повышением вычислительной мощности переносных мобильных вычислительных систем, а так же повышение их миниатюризации, в том числе персональных мобильных смартфонов, создаются идеальные условия для перехвата и атак систем цифровых телекоммуникационных систем передачи данных, как в одностороннем так и в

организованном одновременным воздействием так называемых бот-систем, с централизованным управлением одновременно находящихся в разных частях материка или Земли устройств, удаленное централизованное управление которыми осуществляется через сеть интернет [2].

**Основная часть.** В современном мире защиты информации в цифровых коммуникационных сетях обмена телеметрическими и иными данными применяются системы защиты информации на основе KeeLoq.

Данная система широко используется для шифрования телеметрических и командных данных в протоколах обмена одно и двухсторонних сигнализаций для автомобилей, беспроводного управления шлагбаумами и воротами и так далее.

Такая система осуществляет цифровое подписывание командных или телеметрических данных обмена так называемой цифровой подписью, которая динамически изменяется при использовании каждого передаваемого блока команд или данных.

Однако, с момента ее разработки мощность переносных вычислительных систем, в том числе реализуемых на базе микроконтроллеров под операционной системой android значительно выросла.

Кроме этого, появились так называемые «грабберы ключей» - KeyGrabbers. Данные устройства имеющие приемно-передающий модуль на требуемой частоты, например для автомобильных сигнализаций, шлагбаумов и т.д. используется 433мГц.

Кроме этого, негативным явлением, упрощаемым перехват и попытки дешифрования является стандартизация рабочих частот телекоммуникационного оборудования, что упрощает поиск периодически излучаемых устройств, например автомобильных сигнализаций, пультов дистанционного управления

беспроводными шлагбаумами, воротами, стрелками перевода движения поездов на рельсах и так далее.

Одним из способов подбора ключей возможно использование высокопроизводительных графических чипов видеокарт для персонального компьютера, которые в данный момент широко используются для подбора взлома защищенных блоков криптовалют при майнинге.

Мощности даже не очень больших по геометрическим размерам ферм добычи криптовалют, например состоящих из 6ти видеокарт Geforce RTX3080Ti вполне могут быть расположены и запитаны в условиях скажем компактного малогабаритного автомобиля, даже двухместного - класса например «smart».

Для использования такой достаточно высокомошной в вычислительном плане передвижной криптофермы, размещенной на автомобиле класса «smart» и примененной для подбора ключей keeLog достаточно мощности штатного электрического генератора автомобиля которые достигают 1-1.5 кВт мощности,

Кроме этого, основное потребление графических процессоров составляет по линии 12В, что исключает необходимость преобразования напряжения бортовой сети 12В в 220В, и позволяет напрямую запитать мобильную криптоферму с помощью понижающего устройства 14.4В -> 12В.

Кроме метода прямого подбора защитных хешей цифровой подписи keeLog, возможно их подбор и накопление, с последующей ротацией уже сформированных ранее «валидных» цифровых подписей, записанных с радиозфира при работе штатной системы управления.

Например, для повышения взломозащиты существующих автомобильных как односторонних, так и большинства двухсторонних систем, для исключения передачи повторного записанного с эфира команды на открытие автомобиля и снятия с охраны, цифровая подпись keeLoq последней выполненной сигнализацией команды сохраняется в энергонезависимой памяти и просто повторенная использованная ранее и записанная с эфира последовательность команды и ее валидная штатная подпись keeLoq, при ее уже использовании ранее исполняться не будет.

Однако, никто не запрещает сканирующей радиосистеме перехвата эфирного обмена, вычленив и сохранить валидные цифровые подписи keeLoq, и накопить их в обменный фонд, например если система хранит последнюю 1 уже использованную цифровую подпись, то для ее обмана и ротации достаточно перехватить 2 валидные цифровые подписи штатной системы keeLoq и путем попарной замены, обеспечить работоспособность постороннего оборудования злоумышленника [3- 7].

Если, скажем число сохраняемых в энергонезависимой памяти головного устройства, сохраняется уже использованных валидных ключей цифровой подписи keeLoq три штуки, то для ее обхода достаточно записать шесть валидных ключей цифровой подписи штатной системы радиообмена.

При этом, обеспечив их взаимную ротацию по методу циклического push-выталкивания, злоумышленник может использовать такой канал передачи данных как для перехвата управления, так и для внедрения искаженной цифровой информации в телеметрические каналы передачи данных мониторинга систем например тревожной или пожарной сигнализации.

Более продвинутыми и криптозащищенными являются применяемые например в автомобильных сигнализациях Pandora и иммобилайзерах Pandect закрытые методы так называемого диалогового общения между участниками телекоммуникационного обмена данными как через радио канал, так и через проводной канал связи.

Суть диалогового метода защиты телекоммуникационных данных состоит в последовательном подтверждении каждой команды или блока данных решением задач, перед или после приема команды или данных пакета данных, он проходит процедуру верификации или валидации.

Для проведения процедуры принимающая сторона передает случайное число или несколько чисел, при работе они динамично изменяются и рассчитываются правильные ответы, и в случае совпадения результатов расчетов на передающей и приемной стороне, команда исполняется.

Схема существующих способов обеспечения криптозащиты от несанкционированного доступа или взлома телекоммуникационных систем обмена цифровыми данными в системах, применяемых в области техносферной и пожарной безопасности объектов представлена на рис. 1.

Как видно на рис. 1 – независимо от односторонней или двусторонней системы радиообмена применяется в основном динамический код цифровой подписывания KeeLoq, взлом которого возможно осуществить путем сканирования и сохранения последовательности рабочих подписей валидного оборудования с последующей их циклической ретрансляцией с отставанием либо последовательно либо случайно.

**Результаты исследований.** Существующие системы защиты сетей и данных телекоммуникаций используют диалоговый метод защиты информации, взломозащищенность которого определяется сложностью последовательности математических операций и действий, заложенную в один алгоритм расчета.



Рис. 1. Анализ существующих методов взломозащиты линий телекоммуникационного обмена в цифровых системах

При этом сложные вычисления требуют более мощных вычислительных систем, на базе которых и создаются телекоммуникационные аппаратные средства, используемые для мониторинга обстановки пожарной безопасности сельскохозяйственных предприятий, сельскохозяйственных машин и иных объектов народного хозяйства.

С целью повышения взломозащищенности и устойчивости при кибернетических атаках системы мониторинга реального времени, нами предлагается:

1. Применять простые алгоритмы расчета математического ответа на поставленную задачу исполняющего ведущую роль в процессе телекоммуникационного обмена объекта, что исключает необходимость применение высокомоощных в плане вычислительной мощности и соответствующего отсутствия необходимости обеспечения большого энергопотребления устройств телекоммуникационного обмена.

2. Повышать устойчивость ко взлому, за счет внедрения номерного конечного списка различных простых алгоритмов расчетов математической задачи используемой для подтверждения валидности каждого пакета данных в телекоммуникационной системе.

3. Выбор порядкового номера алгоритма расчета, используемого для подтверждения каждого пакета цифровых данных, осуществляет приемная сторона, так называемый «Мастер», т.е. ведущее устройство локального участка глобальной или локальной телекоммуникационной сети обмена цифровыми данными.

4. При выявлении большого количества неправильных ответов или ответов без подтверждения цифровых подписей – правильного результата решения математической задачи по числу, которое инициализировал ведущий узел обмена, которое получено случайным образом, подозрительный «не валидный» узел вносится в лист запрета («бан лист»).

5. Время блокирования телекоммуникационного обмена цифровыми данными после последовательного не

подтверждения валидности данных, должно возрастать в квадрате или в геометрической прогрессии, при повторном не подтверждении валидности с того же аппаратного устройства-виновника.

В результате проведенного анализа, были получены такие результаты – проанализировано современное состояние вопроса обеспечения взломозащищенности цифровых каналов обмена данными, как при эфирном радиообмене, так и при использовании оптического или проводного электрического канала наземных или подводных коммуникаций.

Выявлены недостатки защиты современных методов защиты от внешнего взлома систем цифровых телекоммуникационного обмена на основе динамического кода KeeLoq, а также рассмотрены возможные действия злоумышленников на объекты и цифровые данные телекоммуникационного обмена систем мониторинга в реальном и отложенном времени состояния объектов сельскохозяйственных предприятий и иных объектов народного хозяйства.

Проанализировав угрозы и существующие, а так же предполагаемые методы кибернетического взлома, были предложены рациональные методы борьбы, обеспечивающие высокую защиту на этапе телекоммуникационного обмена цифровыми данными и методы борьбы с аппаратным и аппаратно-программными комплексами, применяемыми злоумышленниками для обеспечения кибернетических атак или применяемыми при попытках взлома.

#### Выводы.

1. Повея анализ современного состояния вопроса защиты телекоммуникационных систем цифрового обмена данными, было установлено недостаточную взломозащищенность при использовании динамического кода KeeLoq,

2. Была предложена методика создания взломозащищенных каналов телекоммуникационного обмена цифровыми данными в системах мониторинга пожарной

безопасности сельскохозяйственных и иных объектов народного хозяйства.

3. Разработана методика по выявлению и пресечению попыток несанкционированного взлома или подмены валидных цифровых данных.

#### Л и т е р а т у р а

1. Число кибератак выросло на 50% в 2021 году | Hi-Tech | Селдон Новости (myseldon.com) (URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/265280196>)

2. Digital 2021 April Global Statshot Report <https://datareportal.com/reports/digital-2021-april-global-statshot>

3. Worldometers WORLD POPULATION <https://www.worldometers.info/ru/>

4. TechCrunch+ | NVIDIA's latest tech makes AI voices more expressive and realistic URL: <https://techcrunch.com/2021/08/31/nvidias-latest-tech-makes-ai-voices-more-expressive-and-realistic/?tpcc=ECTW2020>

5. [1806.04558] Transfer Learning from Speaker Verification to Multispeaker Text-To-Speech Synthesis (arxiv.org) (URL: <https://arxiv.org/abs/1806.04558>)

6. Уголовная ответственность по ст.119 УК РФ: правовые последствия, результат практики раскрытия преступления (xn--b1aew.xn--plai) (URL: <https://xn--c1aid4a5e.48.xn--b1aew.xn--plai/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/news/item/23100132/>)

7. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Цифровая грамотность URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/540/>

**Oreshkin M., Denisenko I., Ermak V., Malkin V., Pankov A.**

#### THE NEED FOR A COMPREHENSIVE SYSTEM TO PROTECT THE BIOMETRIC VOICE FINGERPRINT FROM THE EFFECTS OF CYBERCRIMINALS ON THE INTERNET

*In the current state, the problem of protecting telecommunications data during radio or wired exchange between means of remote monitoring of the state of fire safety of national economy facilities is relevant. In modern hybrid warfare, not only the physical objects of the parties to the conflict are attacked, but also methods of conducting the so-called "information war" are used, which are designed to intimidate, distort and mislead people, as well as distort digital data of the operation of monitoring systems, telecommunications and objective control real-time data analysis systems, including those related to situation monitoring, enemy search and detection systems. The*

*development and analysis of methods for countering the interception and protection of telecommunication digital communication channels is considered in the article.*

**Key words:** telecommunication data protection system with dialog code, burglary protection of digital communication systems used in fire monitoring telecommunication equipment.

**Орешкин Михаил Вильевич**, профессор кафедры «Техносферная безопасность» ГОУ ВО «Луганский государственный университет им. В. Даля».  
**E-mail:** fid04@ya.ru

**Oreshkin Mikhail Vilyevich**, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor of the Department of Technosphere Safety, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Денисенко Игорь Анатольевич**, профессор кафедры «Техносферная безопасность» ГОУ ВО «Луганский государственный университет им. В. Даля».  
**E-mail:** luganskigor@mail.ru

**Denisenko Igor Anatolyevich**, Professor of the Department of Technosphere Safety of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Малкин Владимир Юрьевич**, директор института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им.В. Даля».  
**E-mail:** malkvu@mail.ru

**Malkin Vladimir Yurevich**, candidate of Law, Associate Professor, Head of the Department "Fire Safety", Director of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Панков Андрей Александрович**, профессор кафедры «Транспортные технологии» ГОУ ВО «Луганский государственный университет им.В.Даля».  
**E-mail:** app.post@rambler.ru

**Pankov Andrey Alexandrovich**, Professor of the Department of Transport Technologies of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Губачева Лариса Александровна**, д-р техн. наук, профессор, Институт гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 15.05.2022*

**СЕКЦИЯ 4****ЭКОНОМИКА ТЕХНОСФЕРНОЙ И ПОЖАРНОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

УДК 339.166

**КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ – ОСНОВА УСТОЙЧИВОЙ  
ТОРГОВЛИ ВЫСОКОМАРЖИНАЛЬНЫМИ ТОВАРАМИ****Болдырев К.А., Дудченко О.Г.****COMPETITIVENESS OF THE ENTERPRISE IS THE BASIS FOR SUSTAINABLE  
TRADE IN HIGH-MARGIN GOODS****Boldyrev K.A., Dudchenko O.G.**

*В статье изложены основные результаты исследования, связанные с изучением экономического явления конкуренции в торговой деятельности, а также выделением дополнительных функций, выполняемых в рыночных условиях. Выявлена взаимосвязь между повышением уровня конкуренции и согласованности интересов производителей высокомаржинальных товаров.*

**Ключевые слова:** высокомаржинальный товар, конкуренция, спрос, предложение.

**Введение.** В современных условиях хозяйствования важно не просто производить и реализовывать продукции, а стремиться к качеству и конкурентоспособности производимой продукции на современном рынке. В современных условиях хозяйствования возникло и формируется такое явление, как конкуренция, которая вынуждает товаропроизводителей постоянно двигаться и совершенствоваться, не останавливаясь на достигнутых результатах, то есть повышать свою конкурентоспособность. Конкуренция является движущей силой развития общества, главным инструментом экономии ресурсов, повышения качества товаров и уровня жизни населения. Соперничество товаропроизводителей развивает экономику, так как прекращают деятельность не отвечающие требованиям рынка предприятия и организации и остаются функционировать только конкурентоспособные.

Огромный вклад в формирование теоретико-методических основ конкурентоспособности товара осуществили такие ученые, как И. Ансофф, О.И. Драган, П. Друкер, Ф. Котлер, М. Портер, А.В. Троян, Р.А. Фатхутдинов и многие другие.

**Целью исследования** является разработка теоретических основ и взаимосвязей показателя

конкурентоспособности предприятия на устойчивость торговой деятельности.

Основными задачами являются:

- изучение существующих классификационных характеристик понятий – конкурентоспособность предприятия;
- усовершенствование методов влияния предприятия на факторы внутренней среды;
- определение роли конкуренции в обеспечении устойчивости торговли высокомаржинальными товарами.

**Изложение основного материала.**

Конкурентоспособность, это один из главных критериев оценки эффективности функционирования и развития предприятия в современном быстроменяющемся мире. В самом широком смысле ее можно встретить как способность к достижению собственных задач в критериях противодействия с конкурентами.

Конкурентоспособность – ключевая характеристика эффективного функционирования и развития предприятия независимо от формы собственности и вида деятельности. По результатам исследований, одной из главных составляющих диагностики конкурентоспособности предприятия является конкурентоспособность товаров предприятия [1, с. 84].

Конкурентоспособность предприятия – это комплексная характеристика его деятельности на рынке, которая основана на анализе его производственно-хозяйственной деятельности.

Также можно сказать, что предприятие является конкурентоспособным, если его товары выдерживают конкуренцию по сравнению с аналогичными товарами на рынке и объёмы продаж,

у которого больше, чем у конкурентов на рынке.

Конкурентоспособность предприятия определяется действием комплекса факторов внешней и внутренней среды. Факторы внешней среды включают: хозяйственную политику государства, правительственные мероприятия относительно управления и регуляции бизнеса (законодательное обеспечение бизнеса). Возможности влияния предприятия на факторы внешней среды ограничены, поскольку они действуют объективно по отношению к предприятию. К факторам внутренней среды относят: технологию, организацию производства и управление, технический уровень производства, знания, практический опыт персонала, инновационную базу, маркетинговую политику, конкурентоспособность предприятия и другие.

Основной проблемой предприятий региона является необходимость обновления сильно изношенных основных производственных фондов, потому главную роль в развитии конкурентоспособности страны играет отечественное машиностроение и создание эффективной системы внедрения наукоемких технологий, а также наличие инвестиций.

Между категориями конкурентоспособности товара и фирмы есть различия:

конкурентоспособность продукции рассматривается относительно каждого ее вида, а предприятие охватывает всю переменную номенклатуру выработанной продукции; анализ уровня конкурентоспособности предприятия осуществляется самим предприятием, а оценка конкурентоспособности товара – прерогатива потребителя.

В своей работе К.А. Парахин и В.Н. Парахина приходят к мнению, что понятие «конкурентоспособность» чрезвычайно обширно и универсального общепринятого определения не имеет, но можно говорить о понятии конкурентоспособности применительно к разным объектам рынка и разным уровням его организации [2, с. 69].

По определению М. Портера, конкурентоспособность – это определенное совокупностью факторов положение товаропроизводителя на внутренних и внешних рынках, отраженное через совокупность показателей внутренних и внешних рынков [3, с. 15].

Ю. Юданов рассматривает 4 типа компаний (или типа стратегий) в зависимости от их целей: виоленты, коммутанты, пациенты, эксплеренты (рис. 1.2) [4].



Рис. 1. Стратегии повышения конкурентоспособности предприятий

Стратегии повышения конкурентоспособности предприятий применяются в различных сегментах рынка для различных форм продуцентов (рис. 2).

Виолентная (силовая) стратегия характерна для фирм, действующих в сфере крупного, стандартного производства. Фундаментальный источник сил – массовое производство продукции хорошего (среднего) качества по низким ценам. За счет этого фирма обеспечивает большой запас конкурентоспособности. Девиз фирм: «Дешево, но прилично» (но не «Дорого и плохо»). Примеры: автомобили «Тоёта», «Шевроле», холодильники «Сименс», «Электролюкс», сигареты «Мальборо», «Кэмел» и др. К ним относится большинство российских крупных промышленных предприятий.

Пациентная (нишевая) стратегия типична для

фирм, вставших на путь узкой специализации для ограниченного круга потребителей. Свои дорогие и высококачественные товары они адресуют тем, кого не устраивает обычная продукция. Их девиз: «Дорого, зато хорошо». Они стремятся уклониться от прямой конкуренции с ведущими корпорациями. Эти фирмы называют «хитрыми лисами» экономики. Для отечественных фирм эта стратегия может быть принята в качестве предпринимательской философии. Она призывает не бороться напрямую с ведущими корпорациями, а выискивать недоступные для них сферы деятельности. Такой подход серьезно повышает шансы слабого в соперничестве с сильными. Вероятно, в дальнейшем в пациенты превратятся многие наши передовые предприятия, в том числе бывшие оборонные.



Рис. 2. Сегменты рынка предприятия для различных форм продуцентов

где А-А – стандартный бизнес; Б-Б – специализированный бизнес; 1 – сегмент виоленты; 2 – сегмент эксплоренты; 3 – сегмент коммутанты; 4 – сегмент пациенты

Коммутантная (соединяющая) стратегия преобладает при обычном бизнесе в местных (локальных) масштабах. Сила местного неспециализированного предприятия в его лучшей приспособленности к удовлетворению небольших по объему (а нередко и кратковременных) нужд конкретного клиента. Это путь повышения потребительской ценности не за счет сверхвысокого качества (как у пациента), а за счет индивидуализации услуги. «Вы доплачиваете за то, что я решаю именно Ваши проблемы», – лозунг коммутантов.

Виоленты и пациенты не всегда могут удовлетворить индивидуальные потребности, тогда на сцену выступают коммутанты, готовые использовать любую возможность для бизнеса. Они получили название «серых мышей». Повышенная гибкость коммутантов позволит им удерживать свои позиции в конкурентной борьбе. Коммутантная стратегия характерна для многих частных российских фирм.

Эксплорентная (пионерская) стратегия связана с созданием новых или с радикальным преобразованием старых сегментов рынка. Среди подобных фирм первопроходцы в выпуске персональных компьютеров.

Проведенный анализ доказывает, что труднее всего фирмам, придерживающимся стратегии эксплорента, так как им для выживания приходится одновременно повышать качество товаров и снижать их себестоимость. Чтобы удержаться в данном сегменте рынка при отсутствии возможности совершенствования технологии или организации производства, фирме часто приходится идти на снижение цены товара и уменьшение доли прибыли. Коммутанты и пациенты при сохранении на прежнем уровне издержек производства (при сохранении технологии и организации производства) повышают качество выпускаемых товаров путем внедрения инноваций. Виоленты реализуют стратегию повышения

конкурентоспособности путём внедрения инноваций в совершенствование технологии, организации производства, труда и управления. Фирмы, не внедрившие своевременно инновации в продукт и процессы, оказались неудачниками, рынок в соответствии с объективным законом конкуренции их вытеснил (или вытеснит).

Из рассмотренных стратегий наиболее рискованной является стратегия эксплорентов, так как им приходится решать двойную задачу. Однако на частичном улучшении трудно удержаться на рынке. Исследования показывают, что главным фактором успеха новых товаров на рынках является повышение их качества. Например, в 1993 г. 58% прибыли американским компаниям дали новые товары.

Из проведенного нами анализа можно сделать вывод: предприятие можно назвать по типу стратегии только в том случае, когда она специализируется на одном виде выпускаемого товара или выполняемой услуги. Если предприятие выпускает несколько видов товара, то по ним она часто применяет разные стратегии. В этом случае нивелируется риск в целом по фирме.

В целом анализ стратегий функционирования крупных предприятий показывает, что с увеличением доли чистой конкуренции среди других структур рынка увеличивается доля эксплорентной стратегии.

Следует, безусловно, отметить, что, по нашему мнению, наиболее универсальная трактовка конкурентоспособности дана в работе Р.А. Фатхутдинова: конкурентоспособность – это свойство объекта, которое характеризуется степенью реального или потенциального удовлетворения им конкретных потребностей в сравнении с аналогичными объектами, которые представлены на данном рынке. Конкурентоспособность определяет возможность выдерживать конкуренцию в сравнении с аналогичными объектами на данном рынке [5, с. 23].

Анализ определений конкурентоспособности и существующих представлений о предмете исследования позволяет выделить ряд моментов, важных для уточнения данного понятия и определения его места среди других экономических категорий:

- конкурентоспособность продукции – это мера ее привлекательности для потребителя;

- привлекательность продукции определяется степенью удовлетворения совокупности разноплановых, иногда противоречивых требований;

- состав требований, их приоритетность зависит как от вида продукции, так и типа ее потребителя;

- конкурентоспособность как экономическая категория имеет релятивистскую природу, потому что рассматривается относительно конкретного рынка и конкретного аналога;

- конкурентоспособности свойственен динамический характер – ее имеет смысл рассматривать лишь относительно конкретного момента времени с учетом изменений во времени рыночной конъюнктуры;

- проблема конкурентоспособности касается лишь нестационарного недефицитного рынка, который находится в неуравновешенном состоянии;

- конкурентоспособность зависит от стадии жизненного цикла, на которой находится рассматриваемый товар;

- имеет смысл говорить о конкурентоспособности лишь того товара, который уже имеет какую-то долю рынка, причем показатель конкурентоспособности существенно зависит от предыстории, то есть доли рынка в предыдущий период.

Подводя итог проведенного нами анализа монографических и литературных источников, можно предложить такое определение: «Конкурентоспособность – это свойство объекта, имеющего определенную долю соответствующего рынка, которая характеризует степень соответствия технико-функциональных, экономических, организационных и других характеристик объекта требованиям потребителей, определяет долю рынка, который принадлежит данному объекту, и препятствует перераспределению этого рынка в пользу других объектов».

Уровень развития экономики республики в значительной степени определяется удельным весом конкурентоспособных товаров, что в ней производятся. Объемы их производства и реализации являются также обобщающим показателем жизнеспособности предприятия, его умения эффективно использовать финансовый, производственный и трудовой потенциал.

Следовательно, конкурентоспособность – это важнейший показатель уровня развития экономики, своеобразный рейтинг ее в соотношении с лидерами мировыми, национальными, региональными,

который в конечном счете характеризует все стороны социально-экономического функционирования общества.

Вместе с тем конкурентоспособность товара – это не только высокое качество и технический уровень, это и умелое маневрирование в рыночном пространстве и во времени, а главное – максимальный учет требований и возможностей конкретных групп покупателей. Причем объективная оценка всех аспектов уровня конкурентоспособности может быть выработана только на основе критериев, которыми оперирует потребитель, для которого этот товар предназначен. Причины конкурентоспособности товара необходимо искать в конкурентных преимуществах отдельных его характеристик, которые являются следствием более эффективного управления процессом разработки, реализации и эксплуатации предлагаемой продукции. Конкурентоспособность продукции и конкурентоспособность предприятия-производителя соотносятся между собой как часть и целое. Возможность предприятий конкурировать на определенном товарном рынке непосредственно зависит от конкурентоспособности товара, а также совокупности экономических методов управления деятельностью предприятия, которые оказывают влияние на результаты конкурентной борьбы.

**Выводы.** Следовательно, важным атрибутом рыночной экономики является конкуренция. Конкуренция охватывает производство и потребление, является единственно возможным средством достижения сбалансированности между спросом и предложением и в конечном итоге общественными потребностями и производством. Конкуренция выполняет функцию общения (кооперации) и согласования интересов производителей – в результате разделения труда интерес каждого из них связан и взаимодействует с интересами других товаропроизводителей. Конкуренция стимулирует повышение качества продукции и услуг. Также считаем, что экономически важной функцией конкуренции является формирование рыночной цены, которая способна удовлетворить продавца и покупателя с целью обеспечения устойчивости торговли высокомаржинальными товарами.

### Л и т е р а т у р а

1. Ансофф, И. Стратегическое управление [Текст]: учебник для вузов / И. Ансофф. М.: Экономика, 2015. – 285 с.
2. Парахин, К.А., Парахина В.Н. Анализ понятия конкурентоспособность // К.А. Парахин, В.Н. Парахина // Сборник научных трудов СевКавГТУ. – Серия «Экономика». – 2007. – №5. – С. 65-70.
3. Портер, М. Международная конкуренция: Пер. с англ. [Текст]: учебник для вузов / М. Портер. М.: Международные отношения, 1993. – 896 с.
4. Юданов, А.Ю. Теория конкуренции: прикладные аспекты / А. Ю. Юданов // Мировая экономика и международные отношения. – 2013. – № 6. – С. 110-113.

5. Фатхутдинов, Р.А. Стратегический менеджмент [Текст]: учебник для вузов / Р.А. Фатхутдинов. М.: ЗАО «Бизнес - школа «Интел-Синтез», 2017. – 246 с.

**Boldurev K.A., Dudchenko O.G.**  
**COMPETITIVENESS OF THE ENTERPRISE IS THE BASIS FOR SUSTAINABLE TRADE IN HIGH-MARGIN GOODS**

*The article presents the main results of the study related to the study of the economic phenomenon of competition in trading activities, as well as the allocation of additional functions performed in market conditions. The relationship between the increase in the level of competition and the consistency of interests of producers of high-margin goods is revealed.*

**Key words:** high-margin goods, competition, demand, supply.

**Болдырев Кирилл Александрович**, д-р экон. наук, профессор, заведующий кафедрой «Торговое дело» ГОУ

ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.  
**E-mail:** gubarevich.91@bk.ru

**Boldurev Kirul Aleksandrovich**, doctor of Economics, professor, head of the Department of «Trading business», SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Дудченко Ольга Геннадьевна**, магистрант ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.  
**E-mail:** gubarevich.91@bk.ru

**Dudchenko Olga Gennadievna**, Master's student of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Рязанцева Наталья Александровна**, д.э.н., проф., доцент кафедры «Экономической кибернетики и прикладной статистики» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 332.14:331.5.024.54

## КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ РАЗВИТИЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА

Денисенко И.А., Пономарёв А. А., Денисенко Е.Г.

### CLASSIFICATION OF STAFF DEVELOPMENT METHODS

Denisenko I.A., Ponomarev A.A., Denisenko E.G.

*В статье изложены основные результаты исследования, связанные с изучением существующих классификаций методов развития кадрового потенциала и усовершенствованием классификации методов развития кадрового потенциала.*

**Ключевые слова:** кадровый потенциал, персонал, методы, развитие.

**Введение.** Вопрос о развитии кадрового потенциала в современных рыночных условиях и требований внутренней и внешней среды, которые непрерывно меняются, является весьма актуальным. Значение роли развития кадрового потенциала в повышении эффективности конкурентоспособности и эффективности организации на рынке постоянно растет и приводит к тому, что все чаще ведущие компании берут на вооружение широкий ассортимент методов развития кадрового потенциала.

Кадры представляют собой стратегический ресурс организации, причем кадры высококвалифицированные – как двигатель всех трансформационных процессов в компании.

Проблемы повышения кадрового потенциала всегда были актуальными и важными, а также рассматривались в научных исследованиях отечественных ученых, в частности, в работах Т.Н. Балина [1], Т.В. Крылова [2], О.И. Осолкова [3], А.М. Савельева [4], А.В. Соколова [5].

Многие аспекты развития кадрового потенциала в системе рыночных отношений развитых стран исследованы зарубежными учеными, такими как Дж. Швейцер, Д. МакГрегор Т. Алфтан, Б. Лапорт, П. Сенг, В. Джифорд, Дж. Килинг, С. Тревен [6].

**Целью исследования** является разработка классификации методов развития кадрового потенциала.

Основными задачами являются:

- изучение существующих классификаций методов развития кадрового потенциала;
- усовершенствование классификации методов развития кадрового потенциала.

**Изложение основного материала.** По мнению большого количества современных исследователей, в настоящее время самыми эффективными являются предприятия и организации, которые способны быть мобильными, вариативными и гибкими в принятии решений в условиях перехода от конкуренции между предприятиями и организациями, в диапазоне и качестве оказываемых услуг, к конкуренции между процессами и качеством их на предприятии и в организации. В современных условиях предприятиям и организациям требуется новый подход к управлению кадровым потенциалом как работников, так и предприятия или организации в целом, эффективность которого будет в большинстве своем обусловлена использованием методов его развития.

Анализ научной литературы по вопросу классификации методов развития кадрового потенциала представлен в табл. 1.

На основании проведенного анализа на рис. 1 разработана усовершенствованная классификация методов развития кадрового потенциала.

Кадровый потенциал характеризуется изменчивостью (нестабильностью), что закономерно связано с его активностью как ответной реакцией на изменение условий внешней среды (макроэкономических, политических, социальных, демографических, правовых, рыночных и т.п.) и внутренней структуры предприятия. Изменение величины кадрового потенциала предприятия происходит за счет:

движения кадров (увольнения, дополнительного приема работников);

изменения квалификации как из-за ее повышения, так и из-за снижения (устаревания знаний, потери умений);

изменения (повышение или снижение) мотивации работников;

создание условий, способствующих проявлению индивидуально-квалификационного потенциала и профессиональных характеристик работника;

возникновение конфликтных ситуаций в коллективе.

Таблица 1

## Анализ научной литературы по вопросу классификации методов развития кадрового потенциала

| Методы                                                              | Балина Т.Н. [1] | Кузнецова Н.В.,<br>Савельев А.М. [4] | S. Treven [6] | Осколкова О.И.,<br>Костенькова Т.А. [3] | Крылова Т.В.,<br>Казначеева С.Н. [2] |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| Обучение                                                            | +               |                                      |               |                                         |                                      |
| индивидуальное обучение                                             |                 |                                      | +             |                                         | +                                    |
| самообразование персонала                                           |                 | +                                    |               | +                                       |                                      |
| переподготовка                                                      |                 | +                                    |               |                                         |                                      |
| повышение квалификации                                              |                 | +                                    | +             | +                                       |                                      |
| образование                                                         |                 |                                      | +             |                                         |                                      |
| обмен опытом                                                        |                 |                                      |               | +                                       |                                      |
| участие в проектах                                                  |                 |                                      |               | +                                       |                                      |
| развивающие проекты                                                 |                 |                                      |               | +                                       |                                      |
| коучинг                                                             |                 |                                      |               | +                                       | +                                    |
| наблюдение                                                          |                 |                                      |               | +                                       |                                      |
| тренинг                                                             |                 |                                      |               | +                                       |                                      |
| развитие командных навыков                                          |                 |                                      |               |                                         | +                                    |
| Расстановка персонала и оптимизация численности (высвобождение)     | +               |                                      |               |                                         |                                      |
| совершенствование организационной структуры                         |                 | +                                    |               |                                         |                                      |
| ротация на рабочем месте                                            |                 |                                      |               | +                                       |                                      |
| увеличение круга ответственности                                    |                 |                                      |               | +                                       |                                      |
| Управление деловой карьерой и служебно-профессиональное продвижение | +               |                                      |               |                                         |                                      |
| построение траектории карьерного роста                              |                 | +                                    | +             |                                         | +                                    |
| Развитие инновационной активности                                   | +               |                                      |               |                                         |                                      |
| стимулирование                                                      |                 |                                      |               |                                         | +                                    |
| Оптимизация условий труда                                           | +               |                                      |               |                                         |                                      |
| оптимизация групповой деятельности                                  |                 |                                      |               |                                         | +                                    |
| управление конфликтами                                              |                 |                                      |               |                                         | +                                    |

Все это доказывает важность формирования управленческого воздействия на кадровый потенциал. Следует отметить, что современные предприятия в большинстве своем имеют проблемы в сфере управления кадровым потенциалом, а именно:

отсутствие инновационной направленности кадровой политики и использование удачного опыта зарубежных предприятий;

отсутствие учета отделами кадров личностных характеристик каждого отдельного работника;

отсутствие четкой системы развития кадрового потенциала работников и т.д.

Результатом такой кадровой политики является высокая текучесть персонала на предприятиях и низкий уровень заинтересованности в достижении организационных целей.

Составляющие кадрового потенциала характеризуют: психофизиологические возможности участия в общественно полезной деятельности; возможность нормальных социальных контактов; способность к генерации новых идей, методов; рациональность поведения; наличие знаний и навыков, необходимых для выполнения определенных обязательств и видов работ; предложение на рынке труда. Перечисленные составляющие обуславливают тот факт, что именно кадровый потенциал

характеризуется наибольшей активностью и наименьшей предсказуемостью развития по сравнению с другими элементами системы ресурсов предприятия.

Персонал не является пассивным объектом управления, он активно меняет себя, свои личностные и профессиональные характеристики, отношение к труду, руководству и предприятию в целом.

Таким образом, работники влияют на процесс принятия решений, связанных с их интересами, и изменяют стоимость кадрового потенциала в целом и конкретного работника в частности. Кроме того, работник имеет право отказаться от условий, при которых ему предлагают работать, обсуждать с руководством уровень вознаграждения за труд, учиться другим профессиям, уклоняться от исполнения обязанностей, увольняться по собственному желанию и т.п., что приводит к ограниченной управляемости состоянием данного ресурса. Выделяют личностно индивидуальные факторы развития, к которым относятся: психологические характеристики (интересы, потребности, коммуникативность, мотивы, ценностные ориентации); состояние здоровья и физиологические характеристики; моральные качества личности и др.

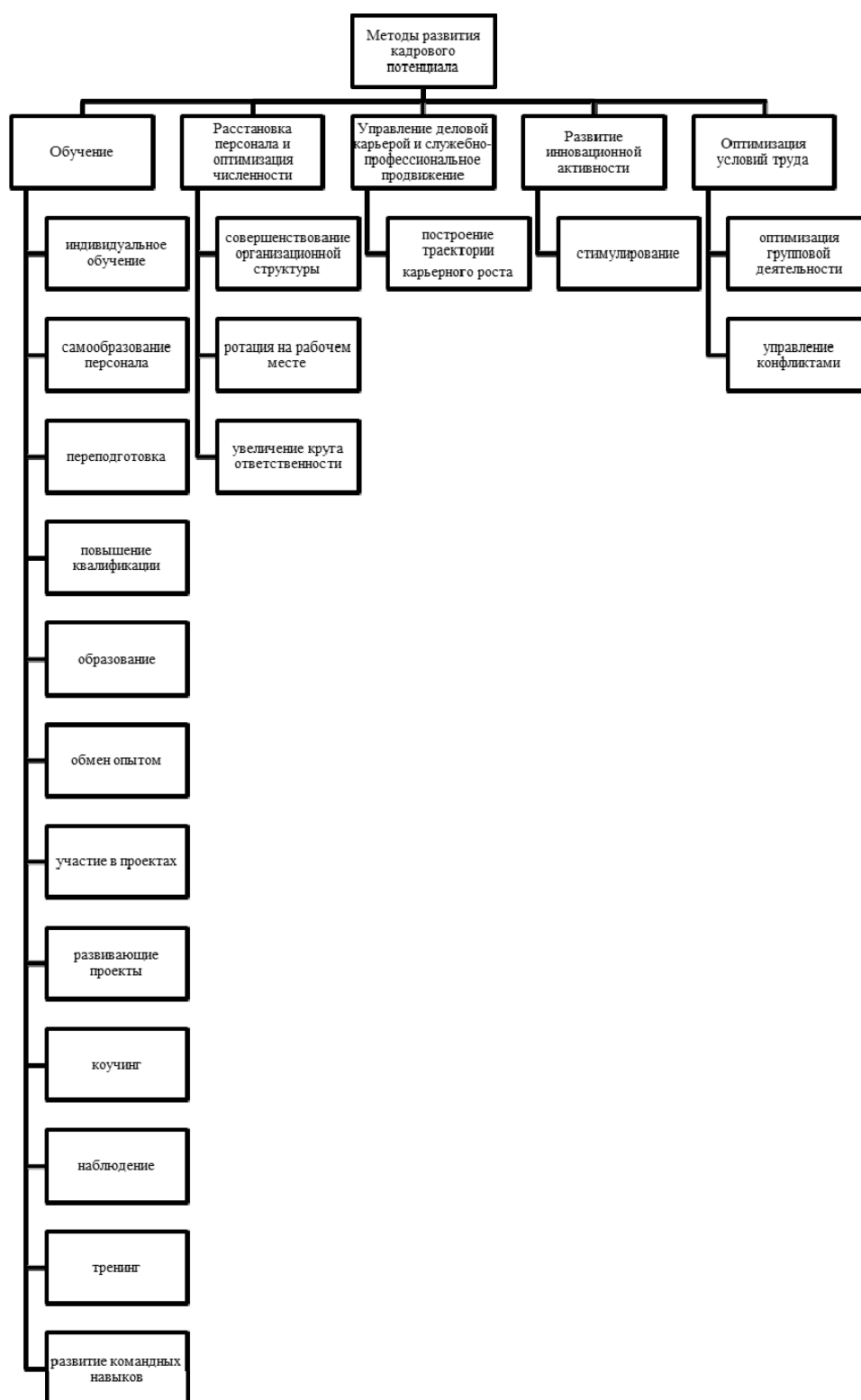


Рис. 1. Усовершенствованная классификация методов развития кадрового потенциала

По мнению ряда авторов, анализ и обоснование влияния факторов на развитие кадрового потенциала предприятия позволило сформировать совокупность тех, которые опосредованно и непосредственно влияют на него, и классифицировать их по признаку внешнего и внутреннего воздействия.

Итак, традиционно факторы, влияющие на развитие кадрового потенциала предприятия, делят на две группы: внешние и внутренние. Внешние факторы больше влияют на качественные и количественные характеристики кадрового потенциала предприятия, связанные с его численностью и половозрастной структурой,

использованием рабочего времени, и формируемые во внешней среде торговых предприятий как прямого, так и косвенного действия. Выделение внутриорганизационных факторов связано с тем, что развитие кадрового потенциала является составной частью, выступает частью предприятия и находится во взаимодействии с другими системами управления.

**Выводы.** Развитие кадрового потенциала является неотъемлемой частью кадровой политики каждого современного предприятия, независимо от вида и особенностей его деятельности. В теории управления персоналом под кадровой политикой принято понимать нормативно установленную совокупность целей, задач, принципов, методов, технологий, средств и ресурсов по отбору, обучению, использованию, развитию профессиональных знаний, умений, навыков, возможностей специалистов, руководителей, других участников профессионально-трудовых отношений. Необходимо также отметить, что развитие кадрового потенциала заключается в повышении профессионально-квалификационного уровня работников, их постоянном обновлении знаний, умений, навыков за счет стимулирования и оценки вклада каждого работника в конечный результат (продолжение образования, управления карьерой), а это в свою очередь будет способствовать решению стратегических целей предприятия и повышению его конкурентоспособных позиций в деловом экономическом мире.

Следовательно, в современных экономических условиях развитие кадрового потенциала предприятий необходимо рассматривать в числе приоритетных сфер функционирования организации. Считаем, на процесс разработки и реализации стратегии прямо влияют качественные характеристики персонала, а допущенные ошибки могут привести к потере капиталовложений, поэтому механизм управления кадровым потенциалом должен быть адаптирован к изменениям в структуре предприятий, организации производственного взаимодействия персонала, содержания труда и обеспечивать формирование профессиональных компетенций и ротацию кадров не только внутри отдельных подразделений организации, но и между ними.

#### Л и т е р а т у р а

1. Балина, Т.Н. Акмеологическая модель развития кадрового потенциала организации // Вестник ТИУиЭ. 2018. №1 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/akmeologicheskaya-model-razvitiya-kadrovogo-potentsiala-organizatsii> (дата обращения: 03.05.2022).
2. Крылова, Т. В. Управление развитием педагогического кадрового потенциала / Т. В. Крылова, С. Н. Казначеева, А. В. Лелекова // Проблемы современного педагогического образования. – 2021. – № 72-2. – С. 132-134. – EDN KСYPFI.
3. Осколкова, О. И. Характеристика методов развития и оценки кадрового потенциала персонала на примере ООО

«Дж.Т.и. Елец» / О. И. Осколкова // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2020. – № 3-1(61). – С. 142-144. – DOI 10.24411/2411-0450-2020-10188. – EDN WRUWKK.

4. Савельев, А. М. Кадровый потенциал организации: методы оценки и развития / А. М. Савельев, Н. В. Кузнецова // Современный менеджмент: теория и практика : Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, Магнитогорск, 30 января – 01 2020 года / Под общей редакцией Н.В. Кузнецовой. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2020. – С. 34-40. – EDN GUQKYE.

5. Соколова, А. В. Методы развития кадрового потенциала кафедры вуза / А. В. Соколова // Вопросы педагогики. – 2019. – № 7-2. – С. 112-116. – EDN YVALWI.

6. Treven S. 2001. Human resource management in international organizations// Management, Vol. 6, 1-2, pp. 177-189.

#### **Denisenko I.A., Ponomarev A.A., Denisenko E.G.** **CLASSIFICATION OF STAFF DEVELOPMENT METHODS**

*The article presents the main results of the study related to the study of existing classifications of methods for developing human resources and improving the classification of methods for developing human resources.*

**Key words:** *personnel potential, personnel, methods, development.*

**Денисенко Игорь Анатольевич**, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры «Техносферная безопасность» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.  
**E-mail:** luganskigor@mail.ru

**Denisenko Igor Anatolyevich**, doctor of Economics, professor, professor of the Department of Technospheric Safety, SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Пономарёв Андрей Алексеевич**, старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.  
**E-mail:** dofes@list.ru

**Ponomarev Andrey Alekseevich**, Senior Lecturer at the Department of Technospheric Safety, SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Денисенко Елена Григорьевна**, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры селекции и защиты растений ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный аграрный университет», г. Луганск.  
**E-mail:** luganskigor@mail.ru

**Denisenko Elena Grigoryevna**, candidate of agricultural sciences, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plant Breeding and Protection, Luhansk State Agrarian University, Lugansk.

**Рецензент: Ермак Василий Петрович**, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Пожарная безопасность» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 338.14:614.84

## ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ПОЖАРА

Орешкина М.В., Пономарёв А.А., Орешкина М.А.

### ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC MECHANISM TO PREVENT ECONOMIC DAMAGE FROM FIRE

Oreshkin M.V., Ponomarev A.A., Oreshkin M.A.

*В статье изложены основные результаты исследования, связанные с усовершенствованием классификации видов экономического ущерба от пожаров, разработкой организационно-экономического механизма предотвращения и возмещения экономического ущерба от пожаров, а также разработкой мероприятий по предотвращению экономического ущерба от пожаров.*

**Ключевые слова:** организационно-экономический механизм, экономический ущерб, мониторинг, пожар, социально-экономические факторы.

**Введение.** Ежегодно пожарами в экосистемах мира повреждаются тысячи гектаров зрелых полевых посевов, плодородных слоев почвы и лесов, уничтожаются водоохранные, защитные и другие полезные свойства леса, фауна; нарушается плановая работа сельского хозяйства и лесных ресурсов. Больше всего в результате пожаров сельскохозяйственные регионы страдают в течение июля - августа, когда создаются благоприятные метеорологические условия (высокие температуры воздуха в течение длительного времени, засухи, низкий уровень влажности, направления и сила ветра и т.д.). Массовые пожары возникают при условии как самовозгорания, так и в результате умышленных поджогов и распространяются экосистемами, способными поддерживать процесс горения: леса, поля с посевами зерновых или лугов под многолетними травами, горючие полезные ископаемые (торф). Всего за год регистрируется около 10-20 пожаров, приобретающих статус чрезвычайной ситуации природного характера, приводящих к экологическим катастрофам разного масштаба и приносящих убытки в миллионы рублей в экономике государств.

Вопросы динамики, структуры и экономики чрезвычайных ситуаций и общий уровень природно-

экологической безопасности страны достаточно долгое время исследуются многими учёными, в том числе такими учёными как: Р.Г. Абакумов, А.В. Артеменко [1], В.О. Щадрин, В.С. Макарова, Носенко М.О. [5], А.А. Яшин, А.В. Филиппов, И.Д. Опарин [3], И.А. Пахомова [4], И. Д. Опарин [2] и т.д.

Несмотря на достаточно высокую освещённость данного вопроса, в научной литературе существуют аспекты, которые требуют доработки. Актуальными являются усовершенствование классификации видов экономического ущерба от пожаров и разработка организационно-экономического механизма предотвращения и возмещения экономического ущерба от пожаров.

**Целью исследования** является разработка мер по предотвращению экономического ущерба от пожаров на основании усовершенствованной структуры экономического ущерба от пожаров и разработанного организационно-экономического механизма предотвращения и возмещения экономического ущерба.

Основными задачами являются:

- усовершенствование классификации видов экономического ущерба от пожаров;
- разработка организационно-экономического механизма предотвращения и возмещения экономического ущерба от пожаров;
- разработка мероприятий по предотвращению экономического ущерба от пожаров.

Изложение основного материала. Анализ научной литературы по вопросу классификации видов экономического ущерба от пожаров представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Анализ научной литературы по вопросу классификации видов экономического ущерба от пожаров**

| Показатель                                      | Абакумов Р.Г.,<br>Артеменко А.В. [1] | Щадрина В.О.,<br>Макарова В.С.,<br>Носенко М.О. [5] | Яшин А.А., Филипов<br>А.В., Опарин И.Д. [3] | Пахомова И.А. [4] | Опарин И. Д. [2] |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------|------------------|
| Прямой ущерб                                    | +                                    | +                                                   |                                             | +                 | +                |
| Потери, связанные с уничтожением и повреждением | +                                    | +                                                   |                                             |                   |                  |
| основных фондов                                 | +                                    | +                                                   | +                                           | +                 |                  |
| ТМЦ                                             | +                                    |                                                     | +                                           | +                 |                  |
| материальных ресурсов текущего потребления      | +                                    |                                                     |                                             |                   |                  |
| личного имущества населения                     | +                                    |                                                     |                                             |                   |                  |
| ценных бумаг                                    | +                                    |                                                     |                                             |                   |                  |
| природных ресурсов                              | +                                    |                                                     |                                             |                   |                  |
| Затраты на тушение пожара и проведение АСР      |                                      |                                                     | +                                           | +                 |                  |
| Косвенный ущерб                                 | +                                    | +                                                   |                                             | +                 | +                |
| Потери от простоя объекта                       | +                                    | +                                                   |                                             |                   |                  |
| Недополученная прибыль                          | +                                    | +                                                   | +                                           | +                 |                  |
| зарплата производственным рабочим               | +                                    |                                                     |                                             |                   |                  |
| затраты на оплату демонтажных работ             | +                                    |                                                     |                                             |                   |                  |
| штрафы                                          | +                                    |                                                     |                                             |                   |                  |
| условно-постоянные расходы                      | +                                    |                                                     |                                             |                   |                  |
| потеря эффективности                            | +                                    |                                                     |                                             |                   |                  |
| неустойка за отмену мероприятий                 |                                      |                                                     | +                                           |                   |                  |
| Социально-экономические потери                  | +                                    | +                                                   |                                             | +                 | +                |
| оплата больничных                               | +                                    | +                                                   |                                             | +                 |                  |
| затраты на лечение, погребение                  | +                                    |                                                     |                                             | +                 |                  |
| пенсии инвалидам, по случаю потери кормильца    | +                                    |                                                     |                                             | +                 |                  |
| социальные пособия                              | +                                    |                                                     | +                                           | +                 |                  |
| единовременные выплаты пострадавшим и их семьям |                                      |                                                     | +                                           | +                 |                  |
| материальная помощь                             |                                      |                                                     |                                             | +                 |                  |
| Экологические потери                            | +                                    | +                                                   |                                             | +                 | +                |
| у населения                                     | +                                    | +                                                   |                                             | +                 |                  |
| в сельскохозяйственных и лесных угодьях         | +                                    |                                                     |                                             | +                 |                  |
| в ЖКХ                                           | +                                    |                                                     |                                             |                   |                  |
| в атмосфере                                     |                                      |                                                     | +                                           | +                 |                  |
| в фауне и флоре                                 |                                      |                                                     |                                             | +                 |                  |
| в почве                                         |                                      |                                                     |                                             | +                 |                  |
| в водоёмах                                      |                                      |                                                     |                                             | +                 |                  |

На основании проведённого анализа на рис. 1 разработана усовершенствованная классификация видов экономического ущерба от пожаров. Возникновение экономического ущерба от пожаров предопределяет наличие мероприятий по предупреждению и его возмещению. Управление по предупреждению пожаров включает в себя оценку риска возникновения пожаров, т.е. определение его вероятных источников и установление их опасности. В общем случае управление риском включает в себя: идентификацию риска, его оценку и прогноз, выработку мер по снижению уровня риска. Анализ риска для населения и территорий от пожаров и ЧС основан на использовании различных концепций, методов и методик.

Организационно-экономический механизм предотвращения и возмещения экономического ущерба представлен на рис. 2.

Большое многообразие источников пожаров и ЧС, множество мероприятий и средств противодействия им требуют повышения степени автоматизации управления устойчивостью, безопасностью и риском. Существуют два традиционных направления их автоматизации:

а) Противоаварийное регулирование.

Например, в форме автоматизированных систем стабилизации технологических процессов и противоаварийной автоматики.

б) Информационное обеспечение органов управления различного уровня, которое развивается: в форме информационных технологий и автоматизированных систем управления (АСУ); автоматизированных рабочих мест (АРМ); экспертно управляющих систем (ЭУС).

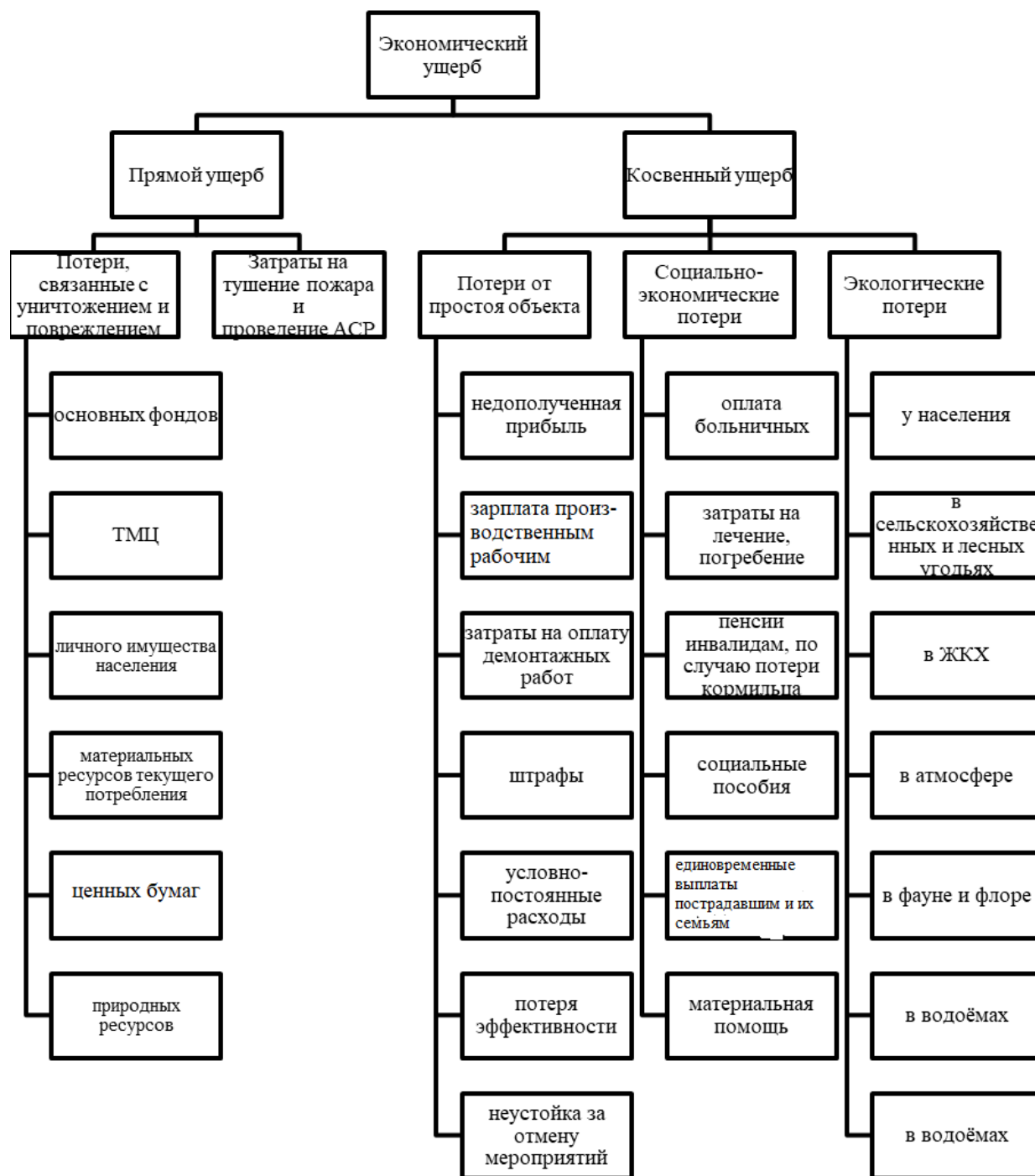


Рис. 1. Усовершенствованная классификация видов экономического ущерба от пожаров

Сложившаяся в 20 веке социально-экономическая ситуация и динамика роста пожаров и ЧС требуют государственного регулирования в области предупреждения пожаров и ЧС, управления рисками и безопасностью, устойчивостью работы при пожаре и ЧС техногенного и природного характера, единой государственной политики в

области защиты населения и территорий в ЧС, ликвидации последствий ЧС. В настоящее время осуществляется переход в государственной политике страны в области защиты населения и территорий в ЧС от концепции «реагировать и ликвидировать» к концепции «предвидеть и предупреждать».

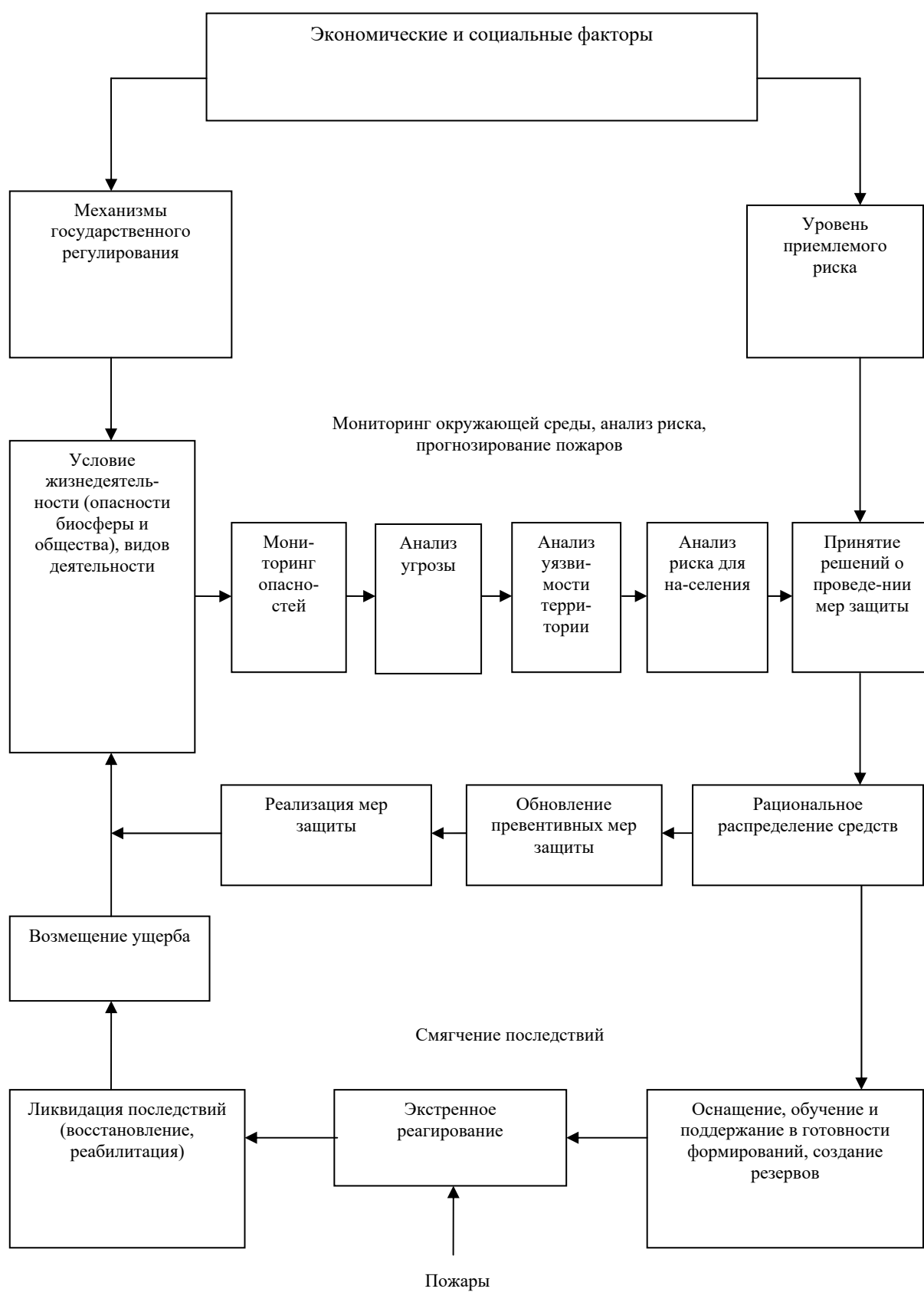


Рис. 2. Организационно-экономический механизм предотвращения и возмещения экономического ущерба

**Выводы.** На основании проведённого исследования все меры по предупреждению возможных пожаров должны соответствовать следующим положениям:

- контролируемое использование огня и управление пожарами будет способствовать сохранению материальных резервов и сохранности;

- минимизировать угрозу жизни и здоровью местного населения;

- эффективность и успешность программ управления пожарами должно гарантировать обеспечение равновесия между получаемыми обществом выгодами для использования огня и потерями, ущербом или нежелательным действием в результате стихийного пожара;

- все виды деятельности по обеспечению пожарной безопасности должны базироваться исключительно на правовой системе и поддерживаться четкими политико-правовыми мерами;

- учитывая трансграничность данного вида опасностей, большое значение приобретает межрегиональное сотрудничество и т.д.

Для МЧС ЛНР предлагается организация ряда мер по снижению риска пожароопасности. Среди них уже традиционны повышение уровня материально-технического оснащения служб контроля и ликвидации, строгий контроль за организацией и выполнением противопожарных мероприятий на территориях с высоким и средним уровнем риска, активизация разъяснительной работы среди населения и т.д.

Современный уровень противопожарной безопасности требует принятия новых форм и направлений предотвращения ЧС, вызванных пожарами. Поэтому существует необходимость создания и обеспечения функциональной возможности для целостной системы мер правового, организационно-экономического, научно-технического и информационного характера с целью активного противодействия пожарам.

#### Л и т е р а т у р а

1. Артеменко А.В., Абакумов Р.Г. Определение и оценка экономического ущерба от пожара зданий и сооружений // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2018. №7 (33). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-i-otsenka-ekonomicheskogo-uscherba-ot-pozhara-zdaniy-i-sooruzheniy> (дата обращения: 15.04.2022).

2. Опарин И. Д. Методические принципы комплексной оценки ущерба от пожаров / И. Д. Опарин, А. А. Яшин, В. В. Терентьев // Техносферная безопасность. – 2020. – № 2(27). – С. 64-79.

3. Опарин И. Д. Ранжирование городских территорий при оценке комплексного ущерба от пожаров / И. Д. Опарин, А. А. Яшин, А. В. Филиппов // Российские регионы в фокусе перемен : Сборник докладов со специальных мероприятий XII Международной конференции, Екатеринбург, 16–18 ноября 2017 года. –

Екатеринбург: ООО "Издательство УМЦ УПИ", 2018. – С. 235-241.

4. Пахомова И.А. Классификация ущерба от пожаров в системе оценки потерь национальной экономики / И.А. Пахомова // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, № 5 (92), 2015 С.174-180.

5. Шадрина В. О. Особенности расчета экономического ущерба при пожаре на судостроительном предприятии / В. О. Шадрина, В. С. Макарова, М. О. Носенко // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2020. – Т. 3. – С. 498-502.

#### **Oreshkin M.V., Ponomarev A.A., Oreshkina M.A. ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC MECHANISM TO PREVENT ECONOMIC DAMAGE FROM FIRE**

*The article presents the main results of the study related to the improvement of the classification of types of economic damage from fires, the development of an organizational and economic mechanism for the prevention and compensation of economic damage from fires, as well as the development of measures to prevent economic damage from fires.*

**Key words:** *organizational and economic mechanism, economic damage, monitoring, fire, socio-economic factors.*

**Орешкин Михаил Вильевич**, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, академик Российской академии естествознания, профессор кафедры "Техносферная безопасность" ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля».  
**E-mail:** fid04@yandex.ru.

**Oreshkin Mikhail Vilyevich**, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor of the Department of Technosphere Safety, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Пономарёв Андрей Алексеевич**, старший преподаватель кафедры "Техносферная безопасность" ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.  
**E-mail:** dofes@list.ru

**Ponomarev Andrey Alekseevich**, Senior Lecturer of the Department "Technospheric Safety" SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Орешкина Марина Александровна**, канд. истор. наук, профессор РАЕ, Российская академия естествознания.  
**E-mail:** Fid04@ya.ru

**Oreshkina Marina Aleksandrovna**, Ph.D. history Sciences, Professor of the Russian Academy of Natural Sciences, Russian Academy of Natural Sciences.

**Рецензент: Денисенко Игорь Анатольевич**, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры «Техносферная безопасность» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

*Статья подана 15.05.2022*

## СЕКЦИЯ 5

ТЕХНОЛОГИЯ, МАТЕРИАЛЫ, ТРАНСПОРТ, БЕЗОПАСНОСТЬ  
И ЛОГИСТИКА: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

УДК 621.874

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТОРМОЗНЫХ ПРОЦЕССОВ  
ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ МОСТОВОГО ТИПА

Будиков Л.Я.

MULTIPARAMETRIC OPTIMIZATION OF BRAKING PROCESSES  
OF MOVEMENT OF OVERHEAD CRANES

Budikov L.Ya.

Приведена блок-схема многопараметрической оптимизации тормозных процессов мостовых кранов. Кран с грузом представлен в виде многомассовой динамической модели, изложены этапы решения задачи формирования тормозных характеристик, обеспечивающих оптимальное (рациональное) торможение.

**Ключевые слова:** мостовые краны, тормозные процессы, многопараметрическая оптимизация тормозных процессов.

**Введение.** В настоящее время величина тормозного момента механизма передвижения грузоподъемного крана определяется из условия погашения кинетической энергии вращающихся и поступательно движущихся масс привода и крана за заданное время или на заданном тормозном пути. При определении тормозного момента не учитываются фактические тормозные характеристики привода, упруго-вязкие свойства элементов механизма и металлоконструкции, гибкий подвес груза и др.[1].

**Целью работы** является анализ динамики торможения мостовых грузоподъемных кранов, рассматриваемых в виде многомассовых динамических моделей. Ставится задача расчета и формирования тормозных характеристик, обеспечивающих *многопараметрическую оптимизацию тормозных процессов*.

Учитывая многообразие конструкций грузоподъемных кранов и их тормозных устройств реализацию эксперимента при поиске (формировании) оптимальных тормозных процессов целесообразно проводить на математических моделях кранов. Это позволяет на ранней стадии оценить эффективность разрабатываемых

тормозных систем.

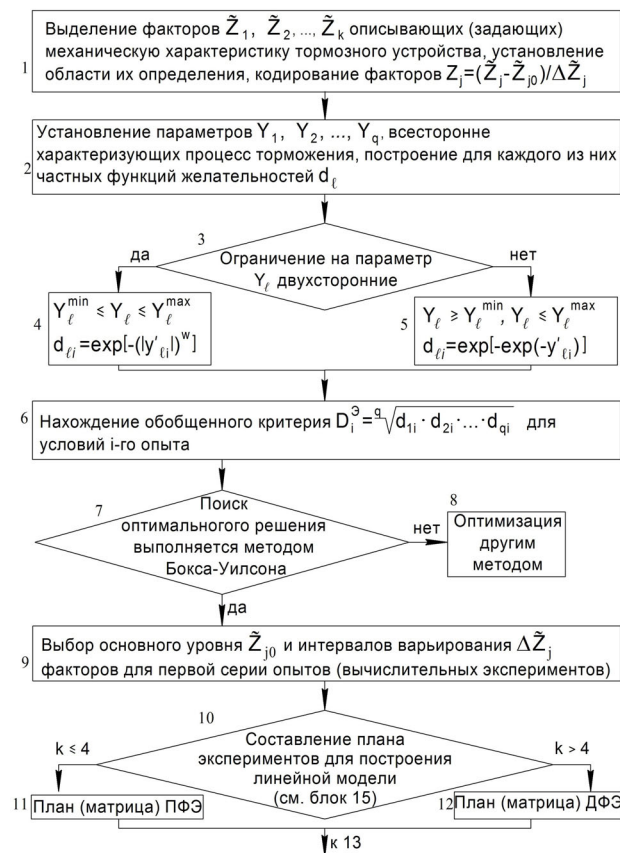


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета оптимальных тормозных характеристик механизмов передвижения,  
лист 1

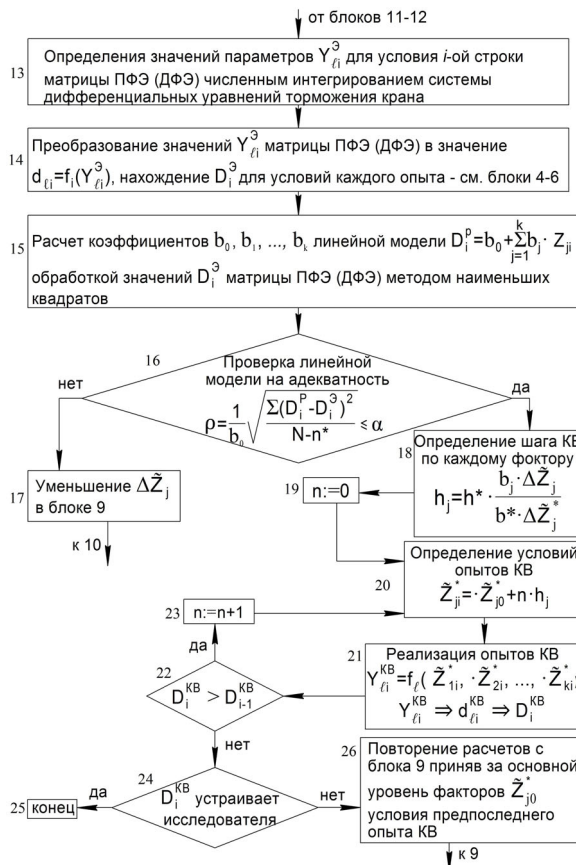


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета оптимальных тормозных характеристик механизмов передвижения, лист 2

При исследовании динамики грузоподъемных машин доминирует детерминированный подход, при котором на основании тщательного изучения механизма явлений строится динамическая модель объекта. Динамическая модель служит переходным звеном к математической модели объекта, которая представляется в виде совокупности математических уравнений и зависимостей, решением которой и определяются значения динамических нагрузок различных элементов привода и металлоконструкции крана.

Реальные объекты исследования отличаются большой сложностью. Движение их описывается, как правило, системой нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка

$$\ddot{\vec{X}} = \vec{f}(\vec{X}, \dot{\vec{X}}, \vec{C}, \vec{F}, t) \quad (1)$$

с начальными условиями:  $\dot{\vec{X}}(0) = \dot{\vec{X}}_0$ ;  $\vec{X}(0) = \vec{X}_0$ .

Здесь  $\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  - вектор фазовых координат системы ( $n$  - число масс системы);  $\dot{\vec{X}}, \ddot{\vec{X}}$  - векторы соответственно первой и второй производных от  $\vec{X}$ ;  $\vec{C}$  - вектор параметров системы;  $\vec{F}$  - вектор внешних нагрузок;  $t$  - текущее время;  $\vec{f}$  - вектор функций правых частей системы (1).

Аналитически получить решение системы (1), обычно, не представляется возможным, поэтому наиболее приемлемыми являются численные методы.

Одной из особенностей принятого подхода к динамике грузоподъемных кранов является оптимизация переходных процессов по обобщенному критерию, включающему основные параметры переходных процессов. Всесторонне «качество» тормозных процессов рассматриваемых грузоподъемных кранов достаточно полно характеризуется с помощью четырех параметров: время торможения крана  $t_t$ , максимальная амплитуда отклонения груза после остановки крана  $A^{\max}$ , максимальные динамические нагрузки металлоконструкции  $P_m^{\max}$  и привода  $P_{pr}^{\max}$ .

Математические модели можно построить для каждого из параметров, но одновременно оптимизировать несколько функций невозможно.

Одним из способов решения задачи оптимизации процессов с большим количеством откликов является использование в качестве обобщенного критерия обобщенной функции желательности  $D$ . Для ее построения предлагается преобразовать измеренные значения откликов  $y$  в значения безразмерной шкалы желательности  $d$  (см. рис. 1, 3). Построение шкалы желательности, которая устанавливает соотношение между значениями  $l$ -го отклика  $y_l$  и соответствующими ему значениями частной функции желательности  $d_l$ , является в своей основе субъективным, отражающим отношение исследователя к отдельным откликам.

Движение динамической модели на рис. 2,а при расположении тележки в середине пролета описывается системой дифференциальных уравнений, состоящей из дифференциального уравнения в частных производных и нескольких обыкновенных дифференциальных уравнений.

Экспериментальные исследования показали, что форму деформации моста при неустановившемся движении крана можно принять подобной статической деформации моста при нагружении его силой в середине пролета и полного ограничения смещения концевых балок в местах установки ходовых колес. Мост крана может рассматриваться как система с тремя сосредоточенными массами, две из которых ( $m_{K1}$ ) приведены к поступательному перемещению концевых балок, а одна ( $m_M$ ) - к поступательному перемещению тележки в середине пролета.

Эти три массы соединены между собой упругой связью с коэффициентом жесткости  $c_M^T$ , который характеризует упругую податливость моста в горизонтальной плоскости. Динамическая модель на рис. 2 учитывает действительные механические характеристики привода в двигательном и тормозном режимах, действительное распределение масс и др.

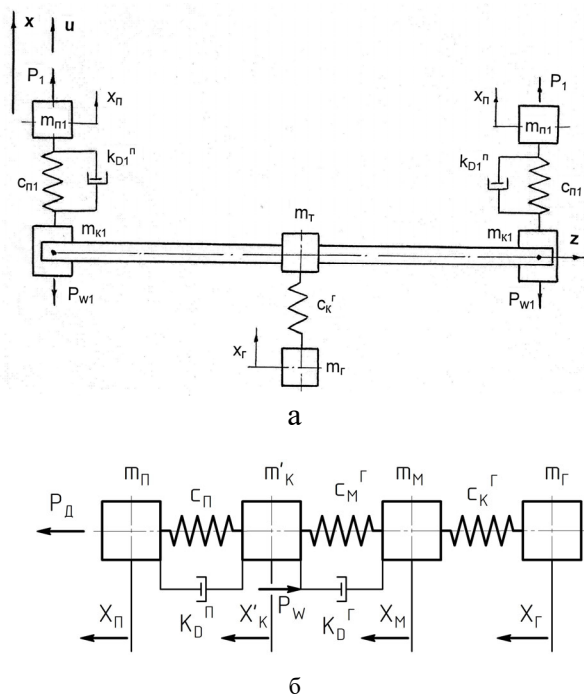


Рис. 2. Динамическая модель (а) и расчетная схема (б) мостового крана при передвижении

Динамические свойства механизма передвижения по этой схеме учитываются с помощью масс  $m_{n1}$  и коэффициентов жесткости  $c_{n1}$ , приведенных к поступательному перемещению ходовых частей.

Внешние силы в рассматриваемой схеме учитываются движущими или тормозными усилиями привода  $P_1$  и соответствующими силами статического сопротивления передвижению сторон крана  $P_{w1}$ .

В силу практической симметрии нагружения крана, динамическую модель на рис. 2,а можно заменить более удобной расчетной схемой на рис.2,б, где:  $m_n = 2 \cdot m_{n1}$ ;  $m'_k = 2 \cdot m_{k1}$ ;  $P_d = 2 \cdot P_1$ ;  $P_w = 2 \cdot P_{w1}$ .

Координаты абсолютного перемещения масс  $m_n$ ,  $m'_k$ ,  $m_m$ ,  $m_r$  обозначены соответственно через  $x_n$ ,  $x'_k$ ,  $x_m$ ,  $x_r$ .

Движение представленной на рис. 2,б расчетной схемы при разгоне описывается дифференциальными уравнениями:

$$\begin{aligned} m_n \cdot \ddot{x}_n + k_D^n \cdot (\dot{x}_n - \dot{x}'_k) + c_n \cdot (x_n - x'_k) - P_{d\zeta} &= 0; \\ m'_k \cdot \ddot{x}'_k - k_D^n \cdot (\dot{x}_n - \dot{x}'_k) - c_n \cdot (x_n - x'_k) + \\ + k_D^r \cdot (\dot{x}'_k - \dot{x}_m) + c_m^r \cdot (x'_k - x_m) + P_w &= 0; \quad (2) \\ m_m \cdot \ddot{x}_m - k_D^r \cdot (\dot{x}'_k - \dot{x}_m) - c_m^r \cdot (x'_k - x_m) + c_k^r \cdot (x_m - x_r) &= 0; \\ m_r \cdot \ddot{x}_r - c_k^r \cdot (x_m - x_r) &= 0. \end{aligned}$$

Характеристику цели исследования, заданную количественно, называют параметром оптимизации.

Параметр оптимизации – это реакция (отклик) на воздействие факторов, которые определяют поведение выбранной нами системы.

Реальные ситуации часто требуют одновременного учета нескольких параметров. Например, переходные процессы передвижения грузоподъемного крана всесторонне могут быть охарактеризованы только совокупностью параметров, о чем сказано выше.

Одним из способов решения задачи оптимизации процессов с большим количеством откликов является использование предложенной Харрингтоном в качестве обобщенного критерия оптимизации обобщенной функции желательности  $D$ .

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

Для построения шкалы желательности использован метод количественных оценок с интервалом значений желательности от нуля до единицы. Значение  $d = 0$  (или  $D = 0$ ) соответствует абсолютно неприемлемому значению данного отклика, а  $d = 1$  ( $D = 1$ ) – самому лучшему значению отклика. Желательность значений отклика и соответствующие им числовые отметки на шкале желательности ясны из рис. 3. Выбор числовых отметок объясняется удобством вычислений, поскольку

$$d = 0,37 \approx \frac{1}{e}, \quad d = 0,63 \approx 1 - \frac{1}{e}.$$

Шкала  $d$  представляет собой безразмерную шкалу, при помощи которой любой отклик может быть преобразован так, чтобы его можно было интерпретировать в терминах полезности или желательности для любого специфического применения.

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

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

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

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

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

где

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

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

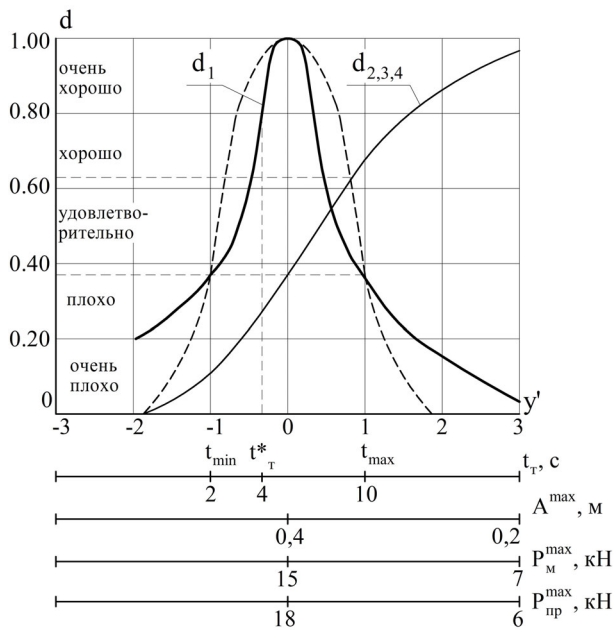


Рис. 3. Графики функций желательностей

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

Окончательно выражение для частной функции желательности  $d_1$ , позволяющей преобразовывать полученные экспериментально значения времени торможения  $t_{Ti}$  в значения  $d_{1i}$ , примет вид:

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

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

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

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

где  $y'_2 = a_{02} + a_{12} \cdot A_i^{\max}$ ,  $y'_3 = a_{03} + a_{13} \cdot P_m^{\max}$ ,  $y'_4 = a_{04} + a_{14} \cdot P_{pr}^{\max}$ .

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

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

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

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

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

В формулах (4), (6)-(8) значения параметров  $t_{Ti}$ ,  $A_i^{\max}$ ,  $P_m^{\max}$  и  $P_{pri}^{\max}$  получены в результате  $i$ -го вычислительного эксперимента на математической модели крана.

Имея несколько откликов  $y_{1i}$ ,  $y_{2i}$ , ...,  $y_{ti}$ , преобразованных в шкалу  $d$ , можно при помощи арифметических операций скомбинировать из этих различных  $d_{ti}$  некий обобщенный показатель желательности  $D_i$  (здесь  $i$  - текущий номер отклика). При этом, если какой-нибудь отклик является абсолютно неудовлетворительным, обобщенная функция желательности  $D_i$  должна быть равна нулю независимо от уровня остальных откликов. Математическим выражением, отвечающим этим требованиям, служит среднее геометрическое частных функций желательности, т.е.

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

где  $q$  - число частных желательностей,  $i$  - номер опыта.

Каждый фактор может принимать в опыте одно из нескольких значений, которые называются *уровнями*. Фиксированный набор уровней факторов определяет одно из возможных состояний «черного ящика», т.е. условие проведения одного из опытов.

Выбрать модель - это значит выбрать вид функции отклика

$$y = f(Z_1, Z_2, \dots, Z_k). \quad (10)$$

Геометрическим аналогом функции отклика является *поверхность отклика*. Для наглядности

рассмотрим случай с двумя факторами. На рис. 4 по одной оси координат отложены в некотором масштабе натуральные значения одного фактора, а по другой – второго. Пунктирными линиями в плоскости  $\tilde{z}_1 0 \tilde{z}_2$  обозначены границы области определения каждого из факторов, а сплошными – границы их совместной области определения. Каждому состоянию «черного ящика» (т.е. условиям проведения  $i$ -го опыта) будет соответствовать точка на совместной области определения факторов.

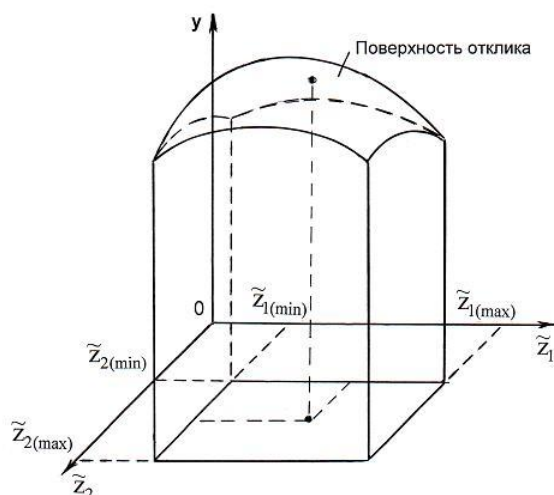


Рис. 4. Факторное пространство и поверхность отклика

При двух факторах поверхность отклика можно наглядно изобразить, не переходя к трехмерному пространству, а ограничившись плоскостью. Для этого достаточно провести сечения поверхности отклика плоскостями, параллельными плоскости  $\tilde{z}_1 0 \tilde{z}_2$ , и полученные в сечении линии спроектировать на эту плоскость. Каждая такая линия соответствует постоянному значению параметра оптимизации и называется линией равного отклика (рис. 6). Каждому возможному состоянию «черного ящика» соответствует одно значение параметра оптимизации.



Рис. 5. Схематическое представление объекта исследования как кибернетической системы

Для описания объекта (процесса) исследования пользуются представлением о кибернетической системе, которая схематически изображена на рис. 5. Стрелки справа изображают численные характеристики целей исследования (обозначены буквой  $y$ ), которые называют параметрами оптимизации (критерий оптимизации, целевая

функция, выход «черного ящика» и др.). Все способы воздействия на поведение «черного ящика» (обозначены буквой  $z$ ) называют факторами. Кроме измеряемых и регулируемых факторов  $Z_1, Z_2, \dots, Z_k$  на объект действуют неконтролируемые, случайным образом изменяющиеся факторы  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$  («шум» объекта

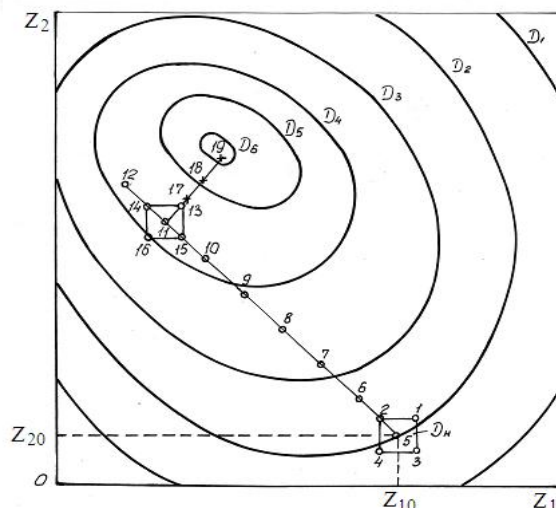


Рис. 6. Алгоритм метода крутого восхождения по поверхности отклика

При использовании статистических методов математическая модель чаще всего представляется в виде полинома - отрезка ряда Тейлора, в который разлагается неизвестная функция (11):

Одной из особенностей принятого подхода к динамике грузоподъемных кранов является оптимизация переходных процессов по обобщенному критерию  $D$ , включающему основные параметры переходных процессов.

Алгоритм этой методики помещен на рис.6. Отметим, что процедура крутого восхождения по поверхности отклика заканчивается в области оптимума, где движение по градиенту уже не дает ощутимого улучшения параметра оптимизации.

Возможны два варианта дальнейших действий: если исследователя устраивает полученный при крутом восхождении результат, то на этом исследование заканчивается, если нет, то исследуется «почти стационарная» область.

Постановка, наряду с задачей расчета динамических нагрузок, задачи оптимизации переходных режимов делает актуальным разработку новых конструкций тормозных устройств и способов управления торможением кранов. Практическая реализация оптимальных тормозных режимов предусматривает точную регулировку и контроль технического состояния тормозных систем, что стимулирует создание соответствующих устройств.

Поскольку в реальном процессе всегда существуют неуправляемые и неконтролируемые

факторы, изменение величины  $y$  носит случайный характер, поэтому при обработке экспериментальных данных получаются так называемые *выборочные коэффициенты регрессии*  $b_0, b_j, b_{uj}, b_{jj}$ , являющиеся оценками *теоретических коэффициентов*. Уравнение регрессии, полученное на основании опытов, запишется следующим образом:

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j \cdot Z_j + \sum_{\substack{u,j=1 \\ u \neq j}}^k b_{uj} \cdot Z_u \cdot Z_j + \dots (11)$$

Коэффициент  $b_0$  называется свободным членом уравнения регрессии,  $b_j$  – линейным эффектом,  $b_{jj}$  – квадратичным эффектом,  $b_{uj}$  – эффектом парного взаимодействия.

Большая часть грузоподъемных кранов оснащается асинхронными электродвигателями с фазными роторами. В двигательном режиме уравнение приведенной к ободу приводных ходовых колес движущей силы привода при работе на механической характеристике  $\xi$  (здесь  $\xi = 1, 2, \dots, 6$  – порядковый номер механической характеристики привода) имеет вид:

$$P_{д\xi} = \eta \cdot \frac{u_m}{r_k} \cdot M_{(n)} = \eta \cdot \frac{u_m}{r_k} \cdot \frac{2M_k}{s_{k\xi}/s + s/s_{k\xi}} = K_\xi \cdot \frac{v_0 - \dot{x}_k}{B_\xi + (v_0 - \dot{x}_k)^2}, \quad (12)$$

где  $K_\xi = 2 \cdot M_k \cdot s_{k\xi} \cdot v_0 \cdot u_m \cdot \eta / r_k$ ;  $B_\xi = s_{k\xi}^2 \cdot v_0^2$ ;  $M_k = \lambda \cdot M_n$  – максимальный (опрокидывающий) момент двигателя;  $s = (n_0 - n) / n_0 = (v_0 - \dot{x}_k) / v_0$  – текущее скольжение;  $s_{k\xi} = s_n \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$  – критическое и  $s_n = (n_0 - n_n) / n_0$  – номинальное скольжение на естественной механической характеристике;  $v_0 = v_k \cdot n_0 / n_n$  – скорость передвижения крана, соответствующая синхронной частоте вращения ротора двигателя;  $u_m$  – передаточное число привода;

$r_k$  – радиус ходового колеса;  $\dot{x}_k$  – текущее значение скорости передвижения крана.

Уравнения приведенной силы привода в режиме противовключения ( $P_{пр}$ ) и динамического торможения ( $P_{тор}$ ) двигателя соответственно имеют вид:

$$P_{пр} = - \frac{K_\xi \cdot (v_0 + \dot{x}_k)}{B_\xi + (v_0 + \dot{x}_k)^2}; \quad (13)$$

$$P_{тор} = - \frac{K_\xi \cdot \dot{x}_k}{B_\xi + \dot{x}_k^2}. \quad (14)$$

В формулах (13) и (14) выражения для  $K_\xi$  и  $B_\xi$  имеют тот же вид, что и при разгоне двигателя (12). При выводе формулы (13)  $s = (n_0 + n) / n_0$ , а формулы (14)  $s = n / n_0$ .

Величина  $P_{тор}$  по мере снижения скорости передвижения крана резко уменьшается, и торможение становится малоэффективным. Целесообразно использовать и возможности нормально замкнутых колодочных тормозов привода. В этом случае торможение крана будет осуществляться в два этапа. Вначале электродвигатель механизма передвижения работает в режиме динамического торможения, что создает наилучшие условия динамического нагружения металлоконструкции и элементов привода, способствует гашению колебаний груза, а затем, при достижении определенной пониженной скорости  $v_{в\xi}$ , двигатель отключается и дальнейшее торможение крана до его полной остановки осуществляется с постоянным тормозным моментом  $M_T$  колодочным тормозом (комбинирование электродинамического и механического торможения).

В рассматриваемом режиме приведенная к поступательному передвижению крана тормозная сила привода:

$$P_T(M_{k\xi}, s_{k\xi}, v_{в\xi}) = \begin{cases} - \frac{2 \cdot M_{k\xi} \cdot s_{k\xi} \cdot v_0 \cdot u_m \cdot \dot{x}_k \cdot \eta}{r_k \cdot (s_{k\xi}^2 \cdot v_0^2 + \dot{x}_k^2)} & \text{при } \dot{x}_k > v_{в\xi}; \\ - M_T \cdot u_m \cdot \eta / r_k & \text{при } \dot{x}_k \leq v_{в\xi}. \end{cases} \quad (15)$$

Если тормозное устройства обеспечивает, например, двухступенчатое нарастание тормозного момента, то приведенная к поступательному передвижению крана тормозная сила привода:

$$P_T = \begin{cases} P_{T1} = -M_{T1} \cdot u_m \cdot \eta / r_k & \text{при } t \leq t_{T1}; \\ P_{T2} = -M_{T2} \cdot u_m \cdot \eta / r_k & \text{при } t > t_{T1}, \end{cases} \quad (16)$$

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

Как ставить эксперимент, чтобы найти оптимум при минимуме затрат?

Наиболее целесообразный путь – строить

математическую модель локального участка поверхности отклика, чтобы с ее помощью предсказывать значения откликов в тех состояниях, которые не изучались экспериментально. В этом случае необходимо сделать предположение относительно свойств неизвестной нам поверхности отклика до начала эксперимента (априори): *поверхность отклика должна быть непрерывной, гладкой и иметь единственный оптимум* (может и на границе области определения факторов). Эти постулаты позволяют представить изучаемую функцию в виде степенного ряда в окрестности любой возможной точки факторного пространства.

Сделав несколько опытов в направлении градиента, снова можно оценить направление, в котором необходимо двигаться. В силу единственности оптимума мы рано или поздно его достигнем. В этом суть шагового принципа (рис. 6).

Представим неизвестную нам функцию отклика полиномом. Операция замены одной функции другой, в каком-то смысле эквивалентной функцией, называется *аппроксимацией*. Значит, мы аппроксимируем на локальном участке неизвестную функцию полиномом.

Мы хотим, чтобы модель предсказывала направление улучшения параметра оптимизации. Такое направление называется *направлением градиента*. Полином первой степени содержит информацию о направлении градиента, и в нем минимально возможное число коэффициентов при данном числе факторов. Единственное опасение – будет ли линейная модель адекватной.

Условие аналитичности функции отклика гарантирует нам то, что можно выбрать подобласть в факторном пространстве, чтобы линейная модель оказалась адекватной. Размеры такой подобласти заранее не известны. Так как адекватность проверяется по результатам опытов, то, выбрав сначала произвольную подобласть, мы, рано или поздно, найдем ее требуемые пределы. И как только это случится, воспользуемся движением по градиенту.

На следующем этапе мы будем искать линейную модель уже в другой подобласти (рис. 6, опыты 13-16). Цикл повторяется до тех пор, пока движение по градиенту не перестанет давать эффект. Это значит, что мы попали в область, близкую к оптимуму («почти стационарную» область). Здесь линейная модель уже не нужна. Либо задача решена, либо надо переходить к полиномам более высокой степени, чтобы описать подробнее область оптимума.

Оптимизация обычно начинается в условиях, когда объект уже подвергался некоторым исследованиям. Эта информация используется для получения представления о параметре оптимизации, факторах, наилучших условиях ведения процесса и характере поверхности отклика. Таким образом, выбор экспериментальной области факторного пространства связан с тщательным анализом априорной информации.

Перед планированием эксперимента принимается ряд решений, главными из которых являются:

- выбор основного уровня факторов  $\tilde{z}_{j0}$ , которому присваивается код «ноль»;
- выбор интервалов варьирования факторов (интервалом варьирования факторов называется некоторое число, свое для каждого фактора, прибавление которого к основному уровню дает верхний, а вычитание – нижний уровни фактора; верхний уровень кодируется (+1), нижний – (-1)).

Зависимость между кодированными  $Z_j$  и натуральными  $\tilde{z}_j$  значениями факторов выражается уравнением:

$$Z_j = (\tilde{z}_j - \tilde{z}_{j0}) / \Delta \tilde{z}_j, \quad (17)$$

где  $\tilde{z}_{j0}$  – натуральное значение j-го фактора на основном уровне;  $\Delta \tilde{z}_j$  – интервал варьирования j-го фактора (натуральное значение).

На первом этапе интервал варьирования факторов должен быть по возможности небольшим, т.к. чем меньше интервал, тем большая возможность линейной аппроксимации. Но при этом интервал варьирования должен быть не меньше удвоенной среднеквадратической ошибки при определении (измерении) данного фактора.

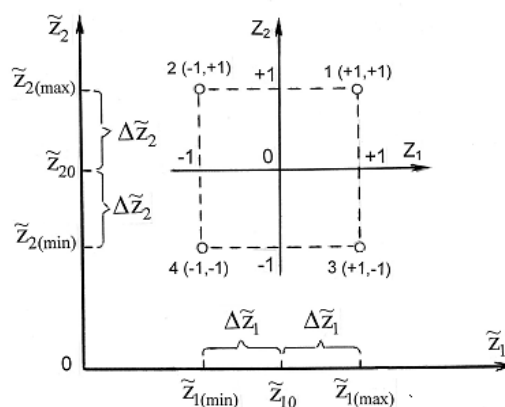


Рис. 7. Геометрическая интерпретация полного факторного эксперимента типа  $2^2$

Условия проведения эксперимента для удобства пользования сводятся в таблицу, аналогичную приведенной ниже.

Для проверки гипотезы об адекватности модели можно использовать F-критерий

$$b_j = \sum_{i=1}^N Z_{ji} \cdot y_i / N, \quad j = 0, 1, \dots, k. \quad (18)$$

$$F_{f_1, f_2}^{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\{y\}}^2} < F_{f_1, f_2}^{\text{табл}}. \quad (19)$$

Таблица 1

Условия проведения трехфакторного эксперимента

| Фактор (код фактора)                           | $M_k, \text{Н} \cdot \text{м} (Z_1)$ | $S_k, (Z_2)$ | $v_k, \text{м/с} (Z_3)$ |
|------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------|-------------------------|
| Основной уровень $\tilde{z}_{j0}$ (код 0)      | 70                                   | 0,4          | 0,4                     |
| Интервал варьирования ( $\Delta \tilde{z}_j$ ) | 5                                    | 0,02         | 0,05                    |
| Верхний уровень (код +1)                       | 75                                   | 0,42         | 0,45                    |
| Нижний уровень (код -1)                        | 65                                   | 0,38         | 0,35                    |

Здесь  $S_{ад}^2 = \sum_{i=1}^N (y_i^{расч} - y_i^{экср})^2 / f_2$  - дисперсия

адекватности;  $S_{\{y\}}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 / f_1$  - дисперсия

опытов;  $f_1 = n - 1$  - число степеней свободы при определении дисперсии опытов;  $f_2 = N - k'$  - число степеней свободы при определении дисперсии адекватности ( $N$  - число опытов,  $k'$  - число статистически значимых коэффициентов в уравнении регрессии);  $F_{f_1, f_2}^{табл}$  - табличное значение F-критерия для  $f_1$  и  $f_2$ .

Наиболее короткий путь к вершине - направление градиента функции отклика. Градиент непрерывной однозначной функции  $y$  есть вектор

$$\nabla y = \frac{\partial y}{\partial Z_1} v_1 + \frac{\partial y}{\partial Z_2} v_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial Z_k} v_k, \quad (20)$$

где  $\nabla y$  - обозначение градиента;  $\partial y / \partial Z_j$  - частная производная по  $j$ -ому фактору;  $v_1, v_2, v_k$  - единичные векторы в направлении координатных осей.

Таким образом, составляющие градиента - это частные производные функции отклика, оценками которых являются коэффициенты регрессии.

Изменяя независимые переменные пропорционально величинам коэффициентов регрессии, мы будем двигаться в направлении градиента функции отклика по самому короткому пути. Процедура движения к почти стационарной области называется крутым восхождением.

Обобщение на  $k$  факторов делается механически, т.к. все коэффициенты независимы друг от друга. Существенно только соотношение произведений коэффициентов на соответствующие интервалы. При движении по градиенту к основному уровню последовательно прибавляются (вычитаются) величины, пропорциональные составляющим градиента.

Шагом крутого восхождения по наиболее сильно действующему фактору задаются, а по остальным факторам шаги рассчитываются из соотношения:

$$\frac{h_j}{h^*} = \frac{b_j \cdot \Delta \tilde{Z}_j}{b^* \cdot \Delta \tilde{Z}^*} \rightarrow h_j = h^* \cdot \frac{b_j \cdot \Delta \tilde{Z}_j}{b^* \cdot \Delta \tilde{Z}^*}, \quad (21)$$

где  $h^*$  - шаг крутого восхождения по наиболее сильно действующему фактору,  $h_j$  - шаг по  $j$ -ому фактору.

На расчет градиента не оказывает влияние коэффициент  $b_0$ .

Для качественных факторов на двух уровнях фиксируется лучший уровень, или градиент реализуется дважды для каждого уровня в отдельности.

Незначимые факторы стабилизируются на любом уровне в интервале  $\pm 1$ . Если нет специальных соображений, то выбирается нулевой уровень. Если же по экономическим соображениям целесообразно поддерживать какой-либо уровень, то выбирают его. В движении по градиенту эти факторы не участвуют.

**Выводы.** В настоящее время величину тормозных моментов механизмов передвижения мостовых кранов рассчитывают по РТМ 24.090.28-77. При определении тормозного момента крана **не учитываются**: фактическое распределение масс; упругие свойства элементов механизма и металлоконструкции; гибкий подвес груза; не ставится как задача оценки «качества» тормозных процессов при торможении крана по различным характеристикам, так и задача формирования тормозных характеристик, обеспечивающих оптимальное (рациональное) торможение.

Целью работы является анализ динамики торможения мостовых грузоподъемных кранов, рассматриваемых в виде многомассовых динамических моделей. Ставится задача расчета и формирования тормозных характеристик, обеспечивающих *многопараметрическую оптимизацию тормозных процессов*.

Приведена блок-схема многопараметрической оптимизации тормозных процессов мостовых кранов, изложены этапы решения задачи формирования тормозных характеристик, обеспечивающих оптимальное (рациональное) торможение.

## Л и т е р а т у р а

1. РТМ 24.090.28-77 (действующий). Краны грузоподъемные. Механизм передвижения. Метод расчета.
2. Будиков Л.Я. Многопараметрические исследования динамики мостовых кранов. Учебное пособие. Луганск: изд-во Луганского национального университета имени В. Даля, 2017. - 236 с.
3. Будиков Л.Я. Концепция метода расчета оптимальных тормозных характеристик грузоподъемных кранов // Вестник Луганского государственного университета имени В. Даля. - 2019. - № 6 [24]. С.35-39.

**Budikov L. Ya.**

## MULTIPARAMETRIC OPTIMIZATION OF BRAKING PROCESSES OF MOVEMENT OF OVERHEAD CRANES

*A block diagram of multiparametric optimization of braking processes of overhead cranes is presented. A crane with a load is presented in the form of a multi-mass dynamic model, the stages of solving the problem of forming braking characteristics that ensure optimal (rational) braking are described.*

**Keywords:** overhead cranes, braking processes, multiparametric optimization of braking processes.

**Будиков Леонид Яковлевич**, докт. техн. наук, профессор кафедры аварийно-спасательных работ ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** leonidbudikov@yandex.ru

**Budikov Leonid Yakovlevich**-Doct. Technical Sciences, Professor of the Department of Accident and Rescue Operations of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент:** Губачева Лариса Александровна, д-р.техн.наук, профессор, Институт гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 15.05.2022

УДК 629.33: 004.8

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

Ворошилов А.И., Кривоногова А.Е., Буйвол П.А., Макарова И.В.

## USING MACHINE LEARNING IN VEHICLE OPERATION

Voroshilov A.I., Krivonogova A.E., Buyvol P.A., Makarova I.V.

*Статья посвящена решению проблемы, связанной с анализом надежности деталей автомобильной техники во время дефектовки на этапе эксплуатации. Цель работы заключается в разработке и апробации интерактивного веб-инструмента, который может быть использован ремонтным работником оперативно в ходе непосредственного процесса диагностики для установления возможных поломок в сопряженных деталях. Описанный сервис позволяет повысить скорость ремонтных работ и качество обслуживания клиентов.*

**Ключевые слова:** ассоциативные правила, эксплуатация автомобилей, дефектные узлы.

**Введение.** В настоящее время, в связи с усложнением конструкции автомобилей, применением новых типов двигателей, переходом на альтернативные виды топлива, его интеллектуализацией, приводящей к увеличению доли электроники и электроники, становится все сложнее обеспечить потребителю его бесперебойную эксплуатацию. Растет доля диагностических операций во время проведения ремонтных и регламентных работ, которые требуют определенной квалификации работника. Быстрый и точный поиск дефектных узлов требует во время диагностики обработки больших объемов информации, что становится все более затруднительным, но необходимо для быстрого и качественного восстановления работоспособности автомобиля. Учитывая, что автомобиль – это сложная система, представляющая совокупность элементов, находящихся во взаимодействии и взаимовлиянии, существует потребность в инструментах многомерного анализа для выявления сложных взаимосвязей, определения наиболее критичных узлов и установления последовательности их проверки.

**Методы анализа надежности систем: современное состояние вопроса.** Существует немало исследований, посвященных разработке и применению методов анализа надежности систем. Наиболее распространенными методами являются анализ дерева отказов, логико-вероятностный метод, анализ сбоев и эффектов, многомерный анализ отказов, нечеткая логика. Однако, у перечисленных методов существуют ограничения. Так для применения первых трех требуются глубокие системные знания о конструкции и процессах, протекающих в рассматриваемой

системе. Остальные не позволяют учесть взаимовлияние смежных и сопряженных деталей. В этом смысле, методы машинного обучения не имеют высокий порог вхождения: аналитику не обязательно иметь высшую квалификацию в области конструкции автомобилей. Он сможет, извлекая скрытые знания из доступных исторических данных о рассматриваемых явлениях и процессах, обнаружить нетривиальные зависимости, которые традиционными способами сложно идентифицировать и проанализировать даже экспертам.

**Цель работы** – разработка и апробация интерактивного веб-инструмента, который может быть использован ремонтным работником оперативно в ходе непосредственного процесса диагностики для установления возможных поломок в сопряженных деталях. Это позволит повысить скорость ремонтных работ и качество обслуживания клиентов.

Для достижения указанной цели были выдвинуты следующие задачи:

- подготовить статистику отказов автомобильной техники, содержащую сведения о дефектных деталях;
- выполнить проектирование и разработку веб-сервиса анализа надежности деталей, позволяющего генерировать ассоциативные правила и интерактивно формировать список рекомендуемых к проверке деталей;
- сгенерировать ассоциативные правила и выполнить анализ их качества.

**Разработка и апробация интерактивного веб-инструмента анализа надежности узлов автомобиля.** Ввиду легкости их интерпретации ассоциативные правила используются в различных областях: классически при изучении моделей покупок, при определении факторов, влияющих на тяжесть последствий аварий, возникновение медицинского заболевания, для оценки надежности поставщиков и программного обеспечения, в прогнозировании рисков услуг морской логистики, при построении системы рекомендаций по страхованию автомобилей.

Современное автомобилестроение активно развивается в направлении все большей интеллектуализации подключенных транспортных средств, обеспечение требуемой надежности которых отличается от классических автомобилей. Так

появляется возможность накопления большего объема информации с бортовой системы автомобиля в виде кодов возникающих неисправностей. В работе [Singh, K., Shroff, G., Agarwal, P. (2015) Predictive reliability mining for early warnings in populations of connected machines. 2015 IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA), 1-10.] авторы использовали алгоритм Apriori интеллектуального анализа ассоциативных правил, чтобы найти правила кодов неисправности, которые приводят к отказу детали с высокой уверенностью и лифтом. В работе [Lei, Z., Zi-dong, Z., Xiao-dong, W., Bin, S. (2009) The Applied Research of Association Rules Mining in Automobile Industry. 2009 WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering, 241-245.] авторы разработали десктопное приложения в IDE Visual Studio, использующее для анализа массив записей, включающий chasisId автомобиля, код автозапчастей, код неисправной детали. Эти правила ассоциации в определенной степени отражают внутреннюю связь между комплектующими для сборки автомобилей и уязвимыми частями неисправности тем не менее они также не могут быть применены при непосредственной диагностике автомобилей. В связи с этим была сформулирована цель – разработка интерактивного инструмента,

который может быть использован ремонтным работником оперативно в ходе непосредственного процесса диагностики для установления возможных поломок в сопряженных деталях. Это позволит повысить скорость ремонтных работ и качество обслуживания клиентов.

Для достижения поставленной цели был разработан веб-сервис AutoAnalytics, использующий базу знаний из закономерностей, полученных на основе применения к статистике отказов автомобильной техники метода ассоциативных правил. Разработанный механизм поддержки принятия решений заключается в следующем: в качестве исходных данных для выявления используется массив записей о неисправных узлах автомобилей, накопленных из рекламаций владельцев либо документов «Наряд-заказ». В качестве номера транзакции используется конкатенация полей «номер документа» (номер рекламации или номер наряд-заказа) и «номер двигателя». Сочетание полей «группа деталей», «подгруппа деталей» и «деталь» позволяет однозначно идентифицировать дефектную деталь. Ассоциативные правила генерируются при каждой загрузке новых данных, с помощью разработанного модуля AutoAnalytics.DbUpload.

| Group      | Subgroup                        | Detail                 |
|------------|---------------------------------|------------------------|
| Front axle | Front axle and steering knuckle | Support bearing washer |
| Devices    | Pressure gauges                 | Pressure sensor        |

| Group | Subgroup | Detail | Confidence |
|-------|----------|--------|------------|
|-------|----------|--------|------------|

Рис. 1. Внешний вид веб-сайта

Для удобства, инструмент реализован в виде адаптированного под мобильные платформы веб-сервиса [3]. Благодаря этому, работник может не отвлекаться от выполнения своих обязанностей, используя мобильное устройство при работе. Сервис построен с применением трехуровневой архитектуры: база данных, сервер, пользовательский

интерфейс. Пользовательский интерфейс – это страница в браузере (использован стек технологий html, css, javascript) [4-6]. Сервер написан на ASP.NET Core. В качестве СУБД была выбрана свободно распространяемая PostgreSQL. Взаимодействие с базой данных происходит с помощью ORM Entity framework,

позволяющего значительно ускорить развертывание базы данных, и упростить работу с ней.

Взаимодействие с базой данных происходит с помощью ORM Entity framework, позволяющего значительно ускорить развертывание базы данных, и упростить работу с ней.

Для проведения анализа сочетаний дефектных узлов, динамики их поддержки и достоверности, а также в разрезе моделей автомобилей, регионов их эксплуатации, была спроектирована соответствующая схема базы данных, хранящая сгенерированные ассоциативные правила.

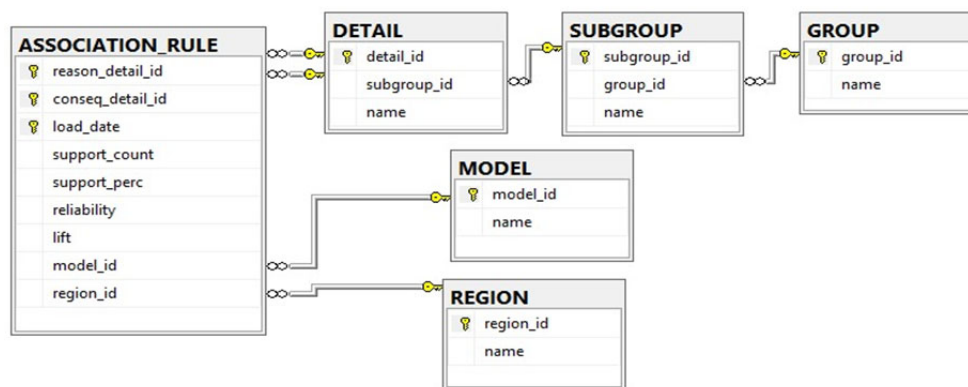


Рис. 2. Схема базы данных приложения

В результате апробации данной методики на реальной статистике отказов был получен ряд нетривиальных полезных правил (табл. 1). Достоверность и лифт позволяют оценить значимость правила. Лифт — это отношение между

наблюдаемой частотой, с которой антецедент и последствие появляются вместе, и произведением частот появления антецедента и следствия по отдельности.

Таблица 1

Сгенерированные ассоциативные правила

| Правило № | Причина, группа          | Причина, подгруппа                          | Причина, деталь                         | Достоверность | Лифт |
|-----------|--------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------|------|
|           | Следствие, группа        | Следствие, подгруппа                        | Следствие, деталь                       |               |      |
| 1         | Тормозная система        | Передний рабочий тормоз и тормозной барабан | Крышка                                  | 76,9          | 52,5 |
|           | Передний мост            | Передний мост и поворотный кулак            | Диск опорного подшипника                |               |      |
| 2         | Передний мост            | Передний мост и поворотный кулак            | Диск опорного подшипника                | 41,7          | 52,5 |
|           | Тормозная система        | Передний рабочий тормоз и тормозной барабан | Крышка                                  |               |      |
| 3         | Тормозная система        | Тормозной клапан                            | Двойной магистральный клапан            | 26            | 9,8  |
|           | Устройства               | Манометр масла                              | Датчик                                  |               |      |
| 4         | Электронное оборудование | Генератор                                   | Реле-регулятор                          | 41,7          | 28,8 |
|           | Устройства               | VK403B                                      | Переключатель фонарей заднего хода      |               |      |
| 5         | Система охлаждения       | Вентилятор и его привод                     | Датчик включения электромагнитной муфты | 26,6          | 17,2 |
|           | Система охлаждения       | Термостат                                   | Термостат                               |               |      |

**Результаты исследований.** Веб-сервис AutoAnalytics предназначен прежде всего для работников автосервисов. Его использование позволяет ускорить процесс диагностики автомобилей, предоставляя работнику рекомендуемые к проверке узлы автомобиля. При обнаружении неисправности, работнику нужно добавить соответствующий узел в список неисправных, после чего будет выдан список узлов,

которые так же рекомендуются к проверке. В список неисправных можно добавить несколько узлов. Данный список упорядочивается в соответствии с убыванием достоверности правил, в которых выявленная дефектная деталь входит как «условие». После каждого добавления список рекомендуемых к проверке узлов будет обновляться.

**Выводы.** Интеллектуализация современных автомобилей вынуждает производителей искать

новые средства и методы для обеспечения потребителей высококачественным и своевременным сервисом. Построенный на основе полученных взаимосвязей инструмент поддержки принятия решений может быть использован работниками с недостаточным опытом и квалификацией. При проведении диагностики автомобиля, поступающего на техническое обслуживание или ремонт, работник вводит выявленную дефектную деталь и получает сгенерированный приложением перечень узлов, подлежащих проверке. Описанная методика в совокупности с разработанным веб-приложением позволит повысить качество и ускорить диагностический процесс. Однако полученные ассоциативные правила могут так же использоваться конструкторами и технологами для анализа деталей на возможные причины дефектов на основе часто совместно встречающихся неисправностей. Правила с высокой поддержкой могут быть полезны для службы снабжения производителя автомобилей при выборе поставщика комплектующих.

Кроме того, правила с высокой поддержкой могут быть использованы службой снабжения при разработке тактических решений по выбору наиболее перспективных поставщиков и производителей и отсеву тех, чьи детали обнаруживают низкую надежность. Также возможна оценка эффективности конструкторских, технических, технологических и прочих изменений, внесенных в отдельные узлы моделей автомобилей, на основе анализа динамики структуры самих ассоциативных правил.

Дальнейшие исследования будут направлены на развитие предлагаемого веб-инструмента в виде обновления базы правил в режиме реального времени после проведения каждой диагностической операции и получения сведений о результатах дефектовки и ремонта. Для чего очевидно будет необходимо провести сравнение быстродействия алгоритмов получения ассоциативных правил.

**Благодарность.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-06008 \ 21.

#### Л и т е р а т у р а

1. Сингх, К., Шрофф, Г., Агарвал, П. (2015) Анализ надежности с прогнозированием для раннего предупреждения в популяциях подключенных машин. 2015 Международная конференция IEEE по науке о данных и расширенной аналитике (DSAA), 1–10.
2. Лэй, З., Цзы-дун, З., Сяо-дун, В., Бин, С. (2009) Прикладное исследование ассоциативных правил добычи полезных ископаемых в автомобильной промышленности. Всемирный конгресс WRI по компьютерным наукам и информационной инженерии, 2009 г., 241–245.
3. Фрэйз Б. HTML5 и CSS3. Разработка сайтов для любых браузеров и устройств. 2-е изд. — СПб.: Питер, 2017. — 272 с.: ил.
4. Дакетт Д. HTML и CSS. Разработка и дизайн веб-сайтов / Джон Дакетт; [пер. с англ. М. А. Райтмана]. — М.: Эксмо, 2013. — 480 с.: ил. + 1 CD.
5. Робсон Э., Фримен Э. Изучаем HTML, XHTML и

CSS. 2-е изд. — СПб.: Питер, 2019. — 720 с.: ил.

6. Макфарланд Д. Новая большая книга CSS. — СПб.: Питер, 2016. — 720 с.: ил.

**Voroshilov A.I., Krivonogova A.E., Buyvol P.A., Makarova I.V.**

#### USING MACHINE LEARNING IN VEHICLE OPERATION

*The article is devoted to solving the problem associated with the analysis of the reliability of automotive parts during troubleshooting at the operational stage. The aim of the work is to develop and test the interaction of a web-based tool that can be used by the repair worker promptly during the significant process of diagnosing the detection of possible breakdowns in the detection of parts. The described service allows you to increase the speed of repair work and the quality of customer service.*

**Keywords:** suspended monorail, rolling stock, vibrations, damper.

**Ворошилов Александр Игоревич**, студент 4 курса, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
**E-mail:** pinatree.personal@gmail.com;

**Voroshilov Alexander I.**, 4th year student. (Eng.), Naberezhnye Chelny Institute, Kazan (Volga Region) Federal University  
**E-mail:** pinatree.personal@gmail.com;

**Кривоногова Алла Евгеньевна**, студент 2 курса, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
**E-mail:** web.programmer2001@gmail.com;

**Krivonogova Alla E.**, 2th year student. (Eng.), Naberezhnye Chelny Institute, Kazan (Volga Region) Federal University, web.programmer2001@gmail.com;

**Буйвол Полина Александровна**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
**E-mail:** skyeyes@mail.ru

**Buyvol Polina A.**, Ph.D. tech. Sci., (Eng.), Associate Professor, Department of Transport Systems Service, Naberezhnye Chelny Institute, Kazan (Volga Region) Federal University.

**Макарова Ирина Викторовна**, д-р техн. наук, зав. кафедрой «Сервис транспортных систем», Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».  
**E-mail:** kamivm@mail.ru

**Makarova Irina V.**, Doctor of Engineering Sci., (Eng.), Chair of the Transport Systems Service Department, Naberezhnye Chelny Institute, Kazan (Volga Region) Federal University

**Рецензент: Кулаков Александр Тихонович**, д.т.н., проф., зав. кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережной Челны.

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 621.1.

## МЕТОДЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Губачева Л.А., Малкин В. Ю., Михайлов Д.В., Назаренко Б.В.

### EMERGENCY PREVENTION METHODS

Gubacheva L.A., Malkin V. Yu., Mikhailov D.V., Nazarenko B.V.

*Статья посвящена предотвращению чрезвычайных ситуаций, уменьшению возможных потерь и ущерба в случае их возникновения. Цель работы уменьшение потерь и ущерба от них методами предотвращения аварий и техногенных катастроф путём повышения технологической, конструкционной и экологической безопасности производственных процессов, эксплуатационной надёжности транспорта и перевозочного процесса.*

**Ключевые слова:** чрезвычайные ситуации, авария, безопасность.

Предотвращение чрезвычайных ситуаций, уменьшение возможных потерь и ущерба в случае их возникновения, является одним из приоритетных направлений деятельности органов власти и управления. В связи с этим разрабатываются превентивные мероприятия научного, инженерно-технического и технологического характера, которые осуществляются по видам природных и техногенных опасностей и угроз.

Организация работы по предупреждению ЧС в масштабах страны осуществляется в рамках Федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в РФ» до 2005 г. – 2015 годов, Стратегией национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 537 и Национальной Стратегии по безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 – 2024 годы (распоряжение правительства РФ от 8.01.2018 № 1-р, Москва)

**Введение.** Комплекс мер по предотвращению ЧС природного и техногенного характера включает меры организационного, организационно-экономического, инженерно-технического и специального характера. Предупреждение ЧС рассматривается как снижение рисков их возникновения, так и в плане уменьшения потерь и ущерба от них.

Известно, что значительная часть всех аварий с опасными материалами происходит при их транспортировке. Крупные объемы опасных материалов (химикаты, углеводороды) ежедневно перевозятся различными транспортными средствами (железнодорожными, автомобильными, морскими и так далее).

В данной статье рассматривается уменьшения потерь и ущерба от них методами предотвращения аварий и техногенных катастроф путём повышения технологической, конструкционной и экологической безопасности производственных процессов и эксплуатационной надёжности транспорта, перевозочного процесса; разработка и осуществление инженерно-технических мероприятий, направленных на предотвращение чрезвычайных ситуаций, уменьшение их масштабов, защиту населения и материальных средств.

Достижение поставленной цели рассмотрим на примере работы газонаполнительных станций (ГНС), работающих с веществами опасными для жизни человека, окружающей среды или экологии в целом. Поэтому вопросы логистики и непосредственно транспортировки опасных грузов, обеспечивающих снижение уровня рисков и угроз их аварийности, являются актуальными. Это взрывоопасное, химически токсичное сырьё, горение которого может сопровождаться образованием токсичных продуктов, что при аварийных ситуациях может вызвать необходимость эвакуации людей из прилегающей территории.

**Основные материалы.** Газонаполнительные станции (ГНС) и склады хранения СУГ (сжиженных углеводородных газов) – сложные технические комплексы, разделённые на производственные и вспомогательные площадки, отвечающие строгим нормативам безопасности. Имеют три основные зоны на производственных площадях: зону приема (сливная эстакада при доставке сжиженного газа по железной дороге), зону хранения (резервуары-емкости базы хранения) и зону отправления (наполнения автоцистерн). Перелив из резервуаров базы хранения осуществляется в автогазовозы и в железнодорожные цистерны.

Структурная схема производственных и вспомогательных площадей ГНС представлена на рис. 1 [1].

Рассмотрим транспортировку опасных грузов, например, нефтепродуктов, которые осуществляются железнодорожным и автомобильным транспортом. Перевозимые грузы подчиняются специальным условиям перевозки опасных грузов, относятся ко 2 классу опасности (газы сжатые, сжиженные и растворенные под давлением) [2]. При перевозках

опасных грузов класса 2 должны выполняться требования настоящих Правил перевозок грузов [3], а также нормативно-технической документации,

касающейся техники безопасности при эксплуатации цистерн, производстве слива, налива и перевозок конкретных опасных грузов этого класса.

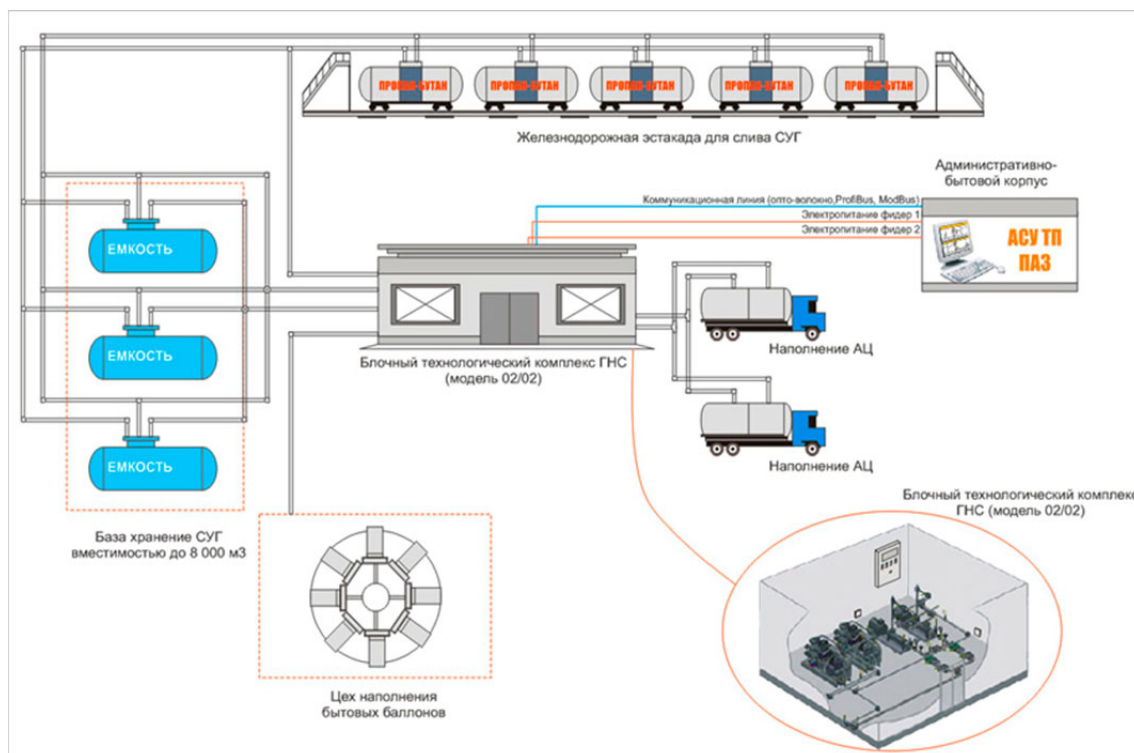


Рис. 1. Структурная схема производственных и вспомогательных площадей ГНС

«Аварии, с участием железнодорожных составов, перевозящих сжиженные углеводородные газы, угрожают большими масштабами по размерам и последствиям. Сход вагонов-цистерн с рельсов опасен выходом газа через поврежденные места и, как следствие, пожаром и взрывами, угрозой химического отравления газом и продуктами его горения. Возгорание и взрыв может увеличить масштаб аварии и причинить еще больший ущерб (рис. 2). Для ликвидации аварий и их последствий приходится привлекать большое количество техники и людей, проводить эвакуационные мероприятия. Подтверждением служит авария, произошедшая под Донецком 2 февраля 2014 года. По сведениям [4] из состава с 62 цистернами 21 сошла с рельсов, произошло возгорание и взрыв. В ликвидации возгорания железнодорожных цистерн с пропан-бутаном были задействованы 314 человек личного состава, 20 единиц техники и 3 пожарных поезда. Ликвидация пожара продолжалась 11 часов по повышенному третьему номеру. Поднимать цистерны на рельсы пришлось двум аварийно-восстановительным поездам и аварийно-ремонтным бригадам в составе 100 человек» [4]. Кроме аварий при транспортировке, аварийные ситуации возможны и на предприятиях, включая места погрузки и разгрузки цистерн с сжиженными углеводородными газами. Также по сведениям [5] 12 февраля 2014 г. в районе эстакады слива-налива

нефтепродуктов на Рязанском НПЗ, в результате схода с рельсов четырех цистерн, произошло возгорание нефтепродуктов.



Рис. 2. Авария с газовыми вагонами-цистернами

Пожару был присвоен повышенный номер сложности. Полностью ликвидировать возгорание удалось к полудню 13 февраля. Предварительный ущерб оценивается более чем в 9,5 млн руб. В «Роснефти» заявили, что возгорание произошло в результате самопроизвольного движения железнодорожного состава и последующего отсоединения четырех цистерн, которые проломили ворота и столкнулись с эстакадой [5].

9 мая 2013 года в Ростовской области при заходе на станцию Белая Калитва сошла с рельсов 51 цистерна с нефтепродуктами. 17 из них перевернулись,

сгорели 10. Площадь возгорания составила 1,5 тыс кв. м, повреждено 1,5 км ж/д полотна (рис. 3). В результате аварии пострадали 52 человека, 18 - госпитализированы. Из зоны ЧП были эвакуированы почти 3 тысячи человек [6].



Рис. 3. Авария на станции Белая Калитва Ростовской области

«При транспортировке нефтепродуктов авторанспортом пересекаются населенные районы с различной плотностью населения, что усиливает потенциальную опасность в случае аварийной ситуации. Сжиженный нефтяной газ должен транспортироваться в цистернах под давлением. Он тяжелее воздуха, и утечка может распространиться до 200 м до того, как при смешении с воздухом концентрация упадет ниже точки взрываемости и воспламеняемости. При аварии, транспортировка сжиженного нефтяного газа может быть серьезной угрозой для водителей и людей, живущих и находящихся в районе этой дороги.»

Авария случилась 22.06.2002 года в 13:30 на шоссе С-44 близ города Тивисса в Каталонии (Испания) (рис. 4). [7]. Перевозившая природный газ автоцистерна потеряла управление на спуске с холма, возможно, из-за превышения скорости. Автоцистерна перевернулась, завалилась на левый бок и взорвалась. В результате взрыва автоцистерны произошла ударная волна, мощный выброс термальной энергии и продукта. Водитель погиб, а двое посторонних лиц, находившиеся на расстоянии около 200 м от взрыва,

были ранены (получили ожоги). Все содержимое цистерны трансформировалось в «огненное облако».



Рис. 4. Авария с автомобильной газовой цистерной

**Результаты исследований.** Проведённые исследования показывают, что железнодорожные аварии - часто результат схода в рельс. С одной стороны, технические дефекты, часто связанные с ненадлежащим техническим обслуживанием (например, тормозов вагонов или путей и стрелок), являются причиной крушения. С другой стороны, человеческий фактор со стороны контролирующего железнодорожного персонала или технические проблемы сигнальной системы могут привести к столкновению поездов, которое иначе не случилось бы.

Даже столкновения на маленькой скорости могут привести к сходу с рельс или деформации вагонов.

Рассмотрим причины схода с рельс железнодорожного состава. Наибольшую тревогу вызывает безопасность перевозок по сети железных дорог РФ катастрофически изношенными грузовыми вагонами. Так за 2013 год вынужденные отцепки грузовых вагонов по неисправностям боковых рам тележек вагонов по трещинам и изломам приблизились к 35000. Как показала статистика, наибольший процент трещинообразования приходится

на внутренний угол буксового проема из-за малого радиуса сопряжения с наклонным поясом боковой рамы. Самые тяжелые последствия наблюдались из-за разрушения боковых рам и крушения целых поездов. Только за 2007-2013 годы общее количество изломов боковых рам составило 129 событий [8].

Изменение уровня качественного состояния рельсового пути и стрелочных переводов, технического обслуживания и условий эксплуатации вагонов в последнее время все чаще приводит к появлению усталостных трещин рам тележек грузовых вагонов, их изломов и разрушений, сходам с рельсов и крушениям поездов. Количество отцепок в ТОР (текущий отцепочный ремонт) грузовых вагонов на железных дорогах РФ по неисправностям боковых рам (трещины, изломы) за 2 месяца 2013 года составило 6 556 [8].

На рис. 5 представлен внешний вид разрушения литой боковой рамы двухосной тележки грузового вагона. Прохождение вагоном стыковых соединений рельсов и крестовин стрелочных переводов сопровождается появлением настолько больших сил, передаваемых от букс, что наблюдается пластическая деформация нижней опорной поверхности литой боковой рамы и даже уменьшение ее толщины на 4-7 мм и более.



Рис. 5. Разрушения литой боковой рамы

Одним из способов повышения усталостной прочности боковых рам тележек грузовых вагонов представляется путь снижения количества концентраторов напряжений и уменьшения влияния концентрации в местах резкого перехода элементов литой конструкции [9].

Одним из путей решения проблемы повышения усталостной выносливости (рис. 6) является обоснованное изменение геометрии поперечного сечения литой рамы [10], за счет приваренных износостойких накладок 5, которые увеличивают площадь поперечного сечения рамы в местах сопряжения 3 поверхностей буксового проема, которые склонны к разрушению, то есть уменьшают коэффициенты концентрации деформации в местах сопряжения 3.

Использование съёмной износостойкой скобы 4, снабженной противоударной прокладкой [11], выполняющих роль амортизаторов позволяет

уменьшить образование трещин и изломов, предотвратить аварийную ситуации и сэкономить средства на компенсацию последствий от дорожно-транспортных происшествий.

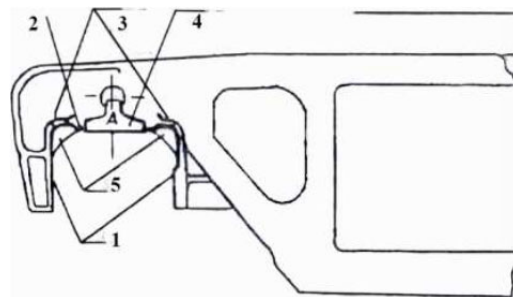


Рис. 6. Фрагмент боковой рамы тележки: 1 - вертикальные буксовые направляющие, 2 - внутренняя горизонтальная поверхность буксового проема; 3 - сопряжение этих поверхностей; 4 - съёмная износостойкая скоба, 5- износостойкие накладки

Самый большой риск несчастного случая со сжиженным нефтяным газом на автодороге вызван двумя факторами:

- несоответствующее функционирование технических средств обслуживания / человеческий фактор
- дорожно-транспортное происшествие – столкновение с автоцистерной или трейлером с контейнер-цистерной, приводящее к повреждению резервуара и / или его арматуры и к утечке. В обоих случаях может произойти возгорание. В противном случае, возможно неконтролируемое рассеивание газовой фазы (например, через канализацию, по наклонной территории или подобное) и накопление в низких участках. Также может произойти последующее воспламенение газовой фазы.

С целью обеспечения безопасного движения предлагается формирование специальных карт по маршруту следования для дорожных покрытий в зависимости от погодных условий (влажно, сухо, гололёд), методика пользования которыми основана на известных расчетах предельных скоростей по условиям заноса и бокового опрокидывания на спусках и подъёмах и в кривых участках пути и включает:

- тягово-скоростной расчет (расчет динамического фактора автомобиля на передачах);
- расчет геометрического вписывания автотранспортного средства в поворот;
- расчет скорости движения автомобиля на маршруте: расчет ограничения скоростей движения на заносе, расчет ограничения скоростей по условиям опрокидывания, расчет коэффициента безопасности подвижного состава автотранспортного средства.
- составление специальной карты по маршруту движения.

Специальная карта по маршруту движения имеет вид:

| №<br>уч | Метеоусловия |                    |        | S,<br>км | R,<br>м | i,<br>% | i <sub>п</sub> ,<br>% | V <sub>0</sub> ,<br>км/ч | V <sub>ср</sub> ,<br>км/ч | Δt,<br>мин | T,<br>мин | g <sub>е</sub> ,<br>г/мин | G,<br>г |
|---------|--------------|--------------------|--------|----------|---------|---------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|------------|-----------|---------------------------|---------|
|         | t°,C         | P <sub>о</sub> ,мм | Влажн. |          |         |         |                       |                          |                           |            |           |                           |         |

S - длина перегона,

R - радиус кривой,

i - поперечный уклон перегона,

i<sub>п</sub> – продольный уклон перегона,

V<sub>0</sub> - скорость движения автомобиля в начале перегона,

V<sub>ср</sub> – средняя скорость движения автомобиля на перегоне,

Δt - время хода на участке,

T – время следования по перегону,

g<sub>е</sub> - расход топлива на подъеме или спуске,

G - расход топлива на подъеме или спуске.

### Выводы.

1. Для повышения надежности и безопасности движения, в условиях повышения грузоподъемности вагонов на железнодорожном транспорте, необходимо модернизировать боковые рамы тележки грузовых вагонов путем снижения значений концентрации напряжений.

2. Представляется целесообразным установка между боковой рамой и буксами съемных противоударных прокладок с упругими элементами.

3. Для автомобильного транспорта рекомендуется составление карт безопасного движения автопоезда по маршруту следования с учетом погодных условий дорожного покрытия, рельефа местности и динамических характеристик транспортного средства.

### Л и т е р а т у р а

1. Газонаполнительная станция (ГНС) [Электронный ресурс]. – URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/azs-pzs-i-dr-oborudovanie-i-uslugi-dlya-ispolzovaniya-nefteproduktov-i-gaza/142303-gazonapolnitelnaya-stantsiya-gns/>. – Загл. с экрана.

2. ГОСТ 19433-88 Грузы опасные. Классификация и маркировка. [Электронный ресурс]. – URL: [https://rustek52.ru/data/objects/5/files/Klassy\\_opasnyh\\_gruzov.pdf](https://rustek52.ru/data/objects/5/files/Klassy_opasnyh_gruzov.pdf). – Загл. с экрана.

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 21.12.2020 № 2200 "Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом и о внесении изменений в пункт 2.1.1 Правил дорожного движения Российской Федерации" [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012230048>. – Загл. с экрана.

4. Сурков, С.А. Арматура нового поколения для газовых вагонов-цистерн / С.А. Сурков// Сб. Сфера. Нефть и газ – Санкт-Петербург, 2015. - №5(49). - С. 72-73.

5. В связи с пожаром на Рязанском НПЗ возбуждено уголовное дело [Электронный ресурс]. – URL: <https://tass.ru/proisshestviya/964206>. – Загл. с экрана.

6. Железнодорожная катастрофа в городе Белая Калитва Ростовской области (9 мая 2013 года) Источник: <https://propb.ru/calendar/zheleznodorozhnaya-katastrofa-v-gorode-belaya-kalitva-rostovskoy-oblasti-9-maya-2013-goda/>. – Загл. с экрана.

7. Взрыв цистерны с сжиженным природным газом [Электронный ресурс]. – URL: <https://pandia.ru/text/80/147/47412.php>. – Загл. с экрана.

8. Радиус излома на Совете главных конструкторов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ipem.ru/news/publications/642.html>. – Загл. с экрана.

9. Рябичев, В.Д. Повышение усталостной выносливости рам тележек грузовых вагонов / В.Д. Рябичев, Л.А. Губачева, А.А. Андреев // Сб. Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля –Луганск, 2019. - №6(24). - С. 194-202.

10. Пат. 86815 Україна, МПК B61F5/12 (2006.01) / Бічна рама вгонного візка / Л. О. Губачева, О. О. Андреев, С.Д. Мокроусов, В.П.Щербаков, Луганськ, Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля - № у 2013 09112; заявл. 19.07.2013 ; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1.

11. Пат.72269 Україна, МПК E01B 9/68 (2006.01) / Еластична прокладка під підкладку рейкового скріплення / Л. О. Губачева, О. О. Андреев, Р.А. Мірошніченко, Луганськ, Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля - № у 2012 01602; заявл. 14.02.2012 ; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15.

**Gubacheva L.A., Malkin V. Yu., Mikhailov D.V., Nazarenko B.V.**

### EMERGENCY PREVENTION METHODS

*The article is devoted to the prevention of emergency situations, reduction of possible losses and damage in case of their occurrence. The purpose of the work is to reduce losses and damage from them by methods of preventing accidents and man-made disasters by improving the technological, structural and environmental safety of production processes, the operational reliability of transport and the transportation process.*

**Key words:** emergencies, accident, safety

**Губачева Лариса Александровна**, д-р техн. наук, профессор Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля»  
**E-mail:** gubacheva\_snu@bk.ru

**Gubacheva Larisa A.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Institute of Civil Protection, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Малкин Владимир Юрьевич**, к.ю.н., доцент, заведующий кафедрой «Пожарная безопасность», директор Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».  
**E-mail:** malkvu@mail.ru

---

**Malkin Vladimir Yurevich**, candidate of Law, Associate Professor, Head of the Department "Fire Safety", Director of the Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Михайлов Дмитрий Викторович**, к.т.н., доцент, заместитель директора Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** igz.lnu@mail.ru;

**Mikhaylov Dmitriy Victorovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director of the Institute of Civil Protection, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Назаренко Борис Владиславович**, старший преподаватель Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** igz.lnu@mail.ru

**Nazarenko Boris Vladislavovich**, Senior Lecturer, Institute of Civil Protection of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Будиков Леонид Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Аварийно-спасательных работ» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 10.05.2022*

УДК 622.647.2

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАСИТЕЛЕЙ БОКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ШАХТНОЙ ПОДВЕСНОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГИ

Гутаревич В.О., Рябко К.А., Рябко Е.В.

## JUSTIFICATION DAMPERING OF LATERAL VIBRATIONS PARAMETERS OF MINE SUSPENDED MONORAIL

Gutarevich V.O., Ryabko K.A., Ryabko E.V.

*Статья посвящена решению проблемы, связанной с боковым раскачиванием подвижного состава подвесной монорельсовой дороги для горных предприятий. Цель работы заключается в снижении амплитуд бокового раскачивания подвижного состава, возникающего во время движения по подвесному монорельсовому пути за счет применения гасителя колебаний. Получено уравнение боковых колебаний подвесной монорельсовой вагонетки. Установлены условия, при котором действие гасителя будет наиболее эффективным.*

**Ключевые слова:** подвесная монорельсовая дорога, подвижной состав, колебания, гаситель.

**Введение.** Во время движения подвесной монорельсовой дороги, подвижной состав которой имеет центр тяжести ниже монорельсового пути, неизбежно возникают боковые раскачивания. При этом амплитуды колебаний вынуждают ограничивать скорость движения подвесной монорельсовой дороги, увеличивать ширину боковых проходов, а также негативно влияют на пассажиров. Кроме того, амплитуды боковых колебаний увеличивают нагрузки на подвижной состав и подвеску монорельсового пути, что уменьшает срок их эксплуатации. Поэтому снижение амплитуд бокового раскачивания подвижного состава за счет применения гасителей колебаний является актуальной задачей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Динамика железнодорожного транспорта исследована в работах [1, 2]. Вопросы формирования динамических процессов, возникающих во время движения подвесной монорельсовой дороги, рассмотрены в статьях [3, 4, 5, 6]. Исследования [7, 8] посвящены формированию амплитуд боковых колебаний подвесного состава подвесной монорельсовой дороги. Возможность гашения боковых колебаний рассмотрена в работе [9, 10]. Данная статья является продолжением указанных исследований.

**Целью** работы является снижение амплитуд бокового раскачивания подвижного состава, возникающего во время движения по подвесному монорельсовому пути за счет применения гасителя колебаний.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

- разработана математическая модель боковых колебаний вагонетки во время движения по подвесному монорельсовому пути;
- исследованы процессы бокового раскачивания вагонетки для разных соотношений параметров гасителя колебаний;
- определены условия, при которых действие гасителя колебаний будет наиболее эффективным.

**Изложение основных материалов.** Общий вид подвесной вагонетки, оборудованной гасителем колебаний, приведен на рис. 1. При этом гаситель может быть переносным или закрепляться стационарно к днищу вагонетки.

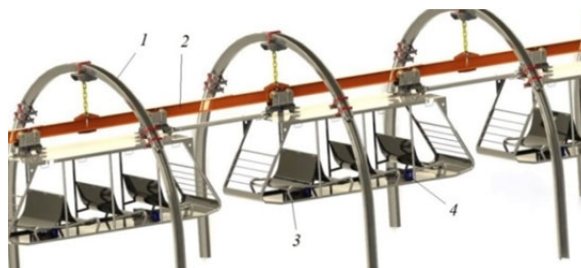


Рис. 1. Общий вид подвижного состава шахтной подвесной монорельсовой дороги: 1 – крепь горной выработки; 2 – монорельсовый путь; 3 – подвесная вагонетка; 4 – гаситель боковых колебаний

Гаситель представляет собой бифилярный маятниковый подвес на валиках с подвижной осью (рис. 2). В его состав входит корпус, крышка, маятниковая пластина и подвесные валики. Корпус имеет две вертикальные стенки, жестко закрепленные к основанию. В каждой стенке корпуса располагаются симметричные относительно поперечной оси по два отверстия. Между стенками подвешивается маятниковая пластина, имеющая также симметричные относительно поперечной оси по два отверстия такого же диаметра и межцентрового расстояния, как и в корпусе. В каждое отверстие стенок и маятниковой пластины вставляется валик, диаметр которого определяет настройку гасителя. Сверху и сбоку корпус

закрывается крышкой. За счет этого ограничивается аксиальное перемещение валиков и обеспечивается бифилярный маятниковый подвес пластины гасителя.

Расчетная схема боковых колебаний подвесной вагонетки с гасителем показана на рис. 3. Считаем, что во время движения происходят боковые колебания относительно точки подвеса  $O$  вагонетки на угол  $\theta_k$  (рис. 3,а). При отклонении кузова от вертикали происходит смещение маятниковой пластины относительно корпуса гасителя. Тогда на расчетной схеме (рис. 3,б) линия  $OE_s$ , соединяющая точку подвеса вагонетки  $O$  с центром тяжести маятниковой пластины  $E_s$ , предстанет в виде ломанной с изгибами в точках  $A$  и  $C$ . При этом отрезок  $AC$  будет прямолинейным, расположенным под углом  $\beta_m$ , а отрезок  $OA$  останется параллельным отрезку  $CE_s$ .

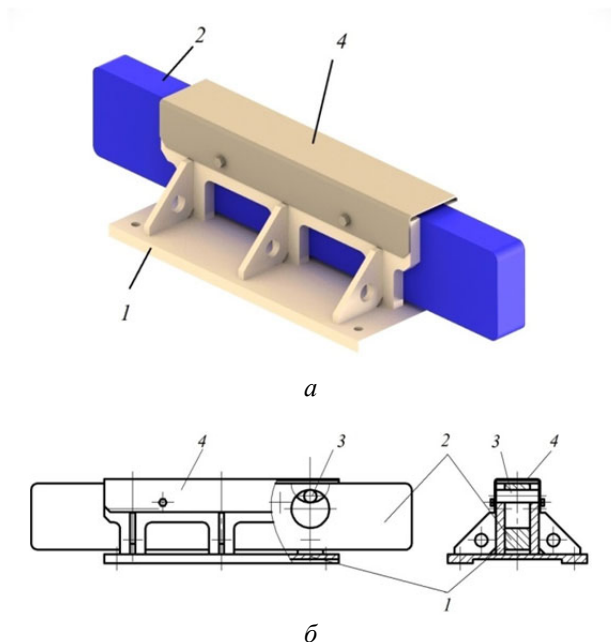


Рис. 2. Гаситель боковых колебаний подвесной монорельсовой вагонетки:

а – общий вид; б – схема гасителя,

где 1 – корпус гасителя боковых колебаний; 2 – маятниковая пластина; 3 – валик; 4 – крышка

Введем обозначения:  $D_s$  – диаметр отверстий маятниковой пластины и стенок корпуса гасителя;  $d_v$  – диаметр валиков;  $l$  – длина отрезков  $AB$  и  $BC$ ;  $l_1$  – длина отрезка  $OA$ ;  $l_2$  – длина отрезка  $CE_s$ ;  $m_E$  – масса маятниковой пластины;  $J_k$  – момент инерции кузова вагонетки относительно ее продольной оси, проходящей параллельно монорельсовому пути через точку подвеса;  $J_E$  – момент инерции маятниковой пластины относительно оси, проходящей параллельно монорельсовому пути через центр тяжести  $E_s$ .

Если при одинаковых отверстиях маятниковой пластины и стенок корпуса, а также равных диаметрах валиков пренебречь проскальзыванием

последних, то относительное движение маятниковой пластины можно считать поступательным. При этом угол поворота маятниковой пластины будет равен углу поворота кузова вагонетки, а в качестве обобщенных координат системы можно принять углы  $\theta_k$  и  $\beta_m$ .

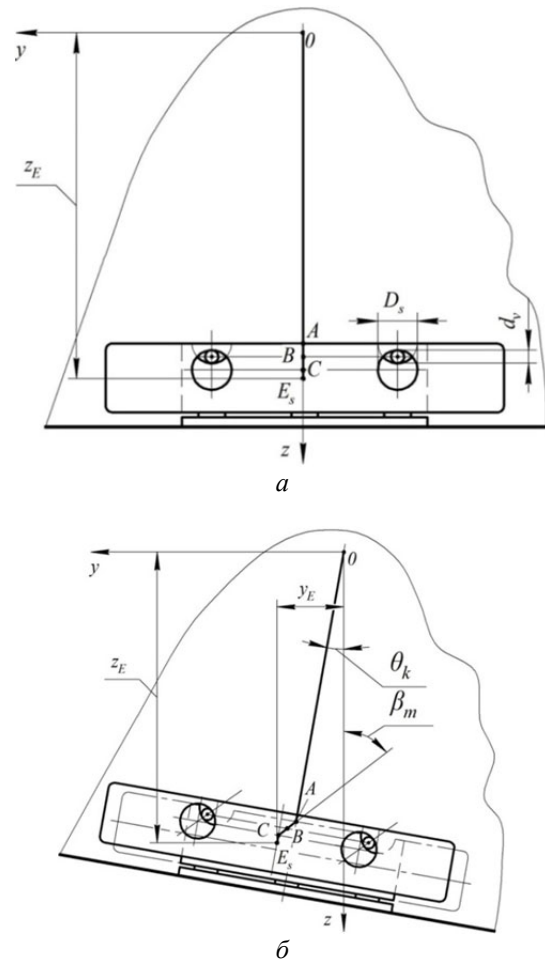


Рис. 3. Расчетная схема боковых колебаний подвесной вагонетки с гасителем:

а – положение в состоянии покоя; б – в движении

Кинетическая энергия кузова вагонетки равна:

$$T_1 = \frac{J_k \dot{\theta}_k^2}{2}.$$

Кинетическая энергия маятниковой пластины будет:

$$T_2 = \frac{1}{2} (J_v \dot{\theta}_k^2 + m_E V_E^2),$$

где  $V_E$  – скорость центра тяжести маятниковой пластины, которая через обобщенные координаты выражается следующим образом.

Проекции координат центра тяжести маятниковой пластины равны:

$$\begin{aligned} y_E &= (l_1 + l_2) \sin \theta_k + 2l \sin \beta_m; \\ z_E &= (l_1 + l_2) \cos \theta_k + 2l \cos \beta_m. \end{aligned}$$

Тогда проекции скорости центра масс будут:

$$\begin{aligned} \dot{y}_E &= (l_1 + l_2) \dot{\theta}_k \cos \theta_k + 2l \dot{\beta}_m \cos \beta_m; \\ \dot{z}_E &= -(l_1 + l_2) \dot{\theta}_k \sin \theta_k - 2l \dot{\beta}_m \sin \beta_m. \end{aligned}$$

Отсюда следует, что

$$\begin{aligned} V_E^2 &= (l_1 + l_2)^2 \dot{\theta}_k^2 + 4(l_1 + \\ &+ l_2) \dot{\theta}_k \dot{\beta}_m \cos(\theta_k - \beta_m) + 4l^2 \dot{\beta}_m^2. \end{aligned}$$

На основании этого суммарная кинетическая энергия рассматриваемой системы равна:

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} [(J_k + J_E + m_E(l_1 + l_2)^2) \dot{\theta}_k^2 + \\ &+ 4m_E(l_1 + l_2) \dot{\theta}_k \dot{\beta}_m \cos(\theta_k - \beta_m) + 4m_E l^2 \dot{\beta}_m^2]. \end{aligned}$$

Установим обобщенные силы, соответствующие обобщенной координате  $\theta_k$ :

$$Q_i = M_i - C_i(\theta_i - \theta_{i+1}) - C_{i-1}(\theta_i + \theta_{i-1}),$$

где  $M_i$  – гармонический момент, действующий на  $i$ -ю подвесную вагонетку и равный:

$$M_i = M_{oi} \sin(k\omega_i t + \gamma_i);$$

$C_i(\theta_i - \theta_{i+1})$ ;  $C_{i-1}(\theta_i + \theta_{i-1})$  – упругие моменты передней и задней сцепок  $i$ -й подвесной вагонетки, соответственно.

Соответствующая обобщенной координате  $\beta_m$  обобщенная сила равна нулю.

Тогда уравнения Лагранжа для рассматриваемой подвесной вагонетки, совершающей вынужденные боковые колебания без сопротивлений, будут:

$$\begin{aligned} (J_k + J_E + m_E(l_1 + l_2)^2) \ddot{\theta}_k + 2m_E l(l_1 + l_2) \ddot{\beta}_m &= Q_i; \\ 4m_E l^2 \ddot{\beta}_m + 2m_E l(l_1 + l_2) \ddot{\theta}_k &= 0. \end{aligned}$$

При действии гармонических возмущений на подвесную вагонетку обобщенные координаты изменяются с частотой  $k\omega_i$ , равной частоте возмущающих моментов. На основании этого:

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_k &= -k^2 \omega_i^2 \theta_k; \\ \ddot{\beta}_m &= -k^2 \omega_i^2 \beta_m. \end{aligned}$$

После подстановок и преобразований получаем:

$$\ddot{\theta}_k \left[ J_k + J_E + \frac{m_E(l_1 + l_2 + 2l)^2(l_1 + l_2)}{l_1 + l_2 - \frac{k^2}{2l}} \right] = Q_i.$$

Введем обозначение

$$J_q = J_k + J_E + \frac{m_E(l_1 + l_2 + 2l)^2(l_1 + l_2)}{l_1 + l_2 - \frac{k^2}{2l}}.$$

В результате имеем уравнение бокового раскачивания подвесной вагонетки с гасителем

$$\begin{aligned} J_q \ddot{\theta}_k + C_i(\theta_i - \theta_{i+1}) + C_{i-1}(\theta_i + \theta_{i-1}) &= \\ = M_{oi} \sin(k\omega_i t + \gamma_i). \end{aligned}$$

**Результаты исследований.** Из полученного уравнения бокового раскачивания подвесной вагонетки с гасителем видно, что ему можно придать нормальный вид, если вместо момента инерции  $J_k$  ввести эквивалентный момент инерции  $J_q$ . Причем, если вагонетка совершает вынужденные колебания под действием возмущающих моментов  $k$ -го порядка, то изменяя параметры гасителя, можно изменять значения эквивалентного момента инерции. Чем больше разница между  $J_q$  и  $J_k$ , тем больше отличие собственных частот боковых колебаний вагонетки с гасителем от собственных частот вагонетки без гасителя.

На рис. 4 приведены зависимости параметров гасителя боковых колебаний для различных длин подвеса монорельсовой вагонетки.

Если выполняется соотношение  $l_1 + l_2 = k^2 / (2l)$ , то эквивалентный момент инерции становится равным бесконечности, а, следовательно, действие гасителя колебаний будет наиболее эффективным.

Вместе с тем эффект гашения колебаний подвесной вагонетки зависит не только от эквивалентного момента инерции, но и от координат расположения гасителя.

При значении эквивалентного момента инерции, равном бесконечности, узел колебаний образуется в точке крепления гасителя. На основании этого происходит изменение собственных частот исходной механической системы.

Как видно на рис. 4, чем больше смещение узла колебаний  $l_1$ , тем весомее изменение указанных частот и эффективнее применение гасителя колебаний вагонетки. Поэтому его координаты расположения должны находиться на наибольшем расстоянии от ходовых тележек и закрепляться на днище подвесной вагонетки.

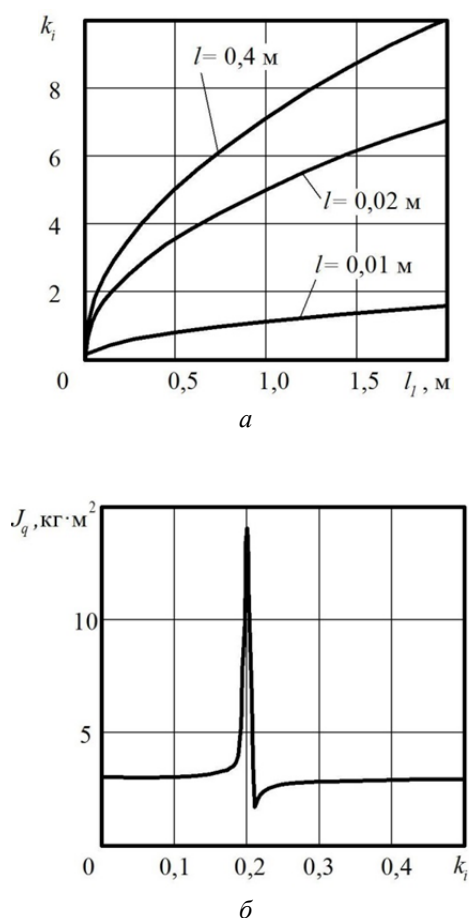


Рис. 4. Графические зависимости параметров гасителя боковых колебаний подвешенной монорельсовой вагонетки:

$$a - k_i = f(l_i); \delta - J_q = f(k_i)$$

**Выводы.** На основании проведенных исследований получены следующие основные результаты.

При выполнении соотношения  $l_1 + l_2 = k^2 / (2l)$  действие гасителя колебаний будет наиболее эффективным.

Для большего снижения амплитуд бокового раскачивания подвешенной вагонетки гаситель колебаний должен удаляться на наибольшее расстояние от точек подвеса кузова вагонетки по вертикали.

Во время действия возмущающих моментов различных порядков целесообразно присоединение к системе нескольких гасителей с соответствующей настройкой масс.

#### Л и т е р а т у р а

1. Popp, K. System dynamics of railway vehicles and track / K. Popp, I. Kaiser, H. Kruse // Archive of Applied Mechanics (IngenieurArchiv). – 2003. – Vol. 72. – No 11-12. – P. 949-961.
2. Popp, K. Ground Vehicle Dynamics / K. Popp, W. Schiehlen // Berlin: Springer-Verlag, 2010. – 366 p.
3. Chanda, E. K. A computer simulation model of a monorail based mining system for decline development / E. K. Chanda, B. Besa // International Journal of Mining,

Reclamation and Environment, Taylor & Francis Publishers. – 2011. – Vol. 25, Iss. 1. – P. 52–68.

4. Lee, C. H. Dynamic Response of a Monorail Steel Bridge under a Moving Train / C. H. Lee [et al.] // Journal of Sound and Vibration. – 2006. – № 294(3). – P. 562–579.

5. Naeimi, M. Dynamic interaction of the monorail-bridge system using a combined finite element multibody-based model/ M. Naeimi [et al.] // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multibody Dynamics – 2015. – Vol. 229. – P. 132–151.

6. Теоретические основы и расчеты транспорта энергоемких производств / В.А. Будишевский и др.; под общ. ред. В. П. Кондрахина; ГОУ ВПО «ДОННТУ». – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Донецк: ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2017. – 216 с.

7. Gutarevych, V. Dynamic model of movement of mine suspended monorail / V. Gutarevych // Transport Problems. – 2014. – Vol. 9. – No 1. – P. 13-18.

8. Гутаревич, В. О. Динамика шахтных подвешных монорельсовых дорог : монография / В. О. Гутаревич. – Донецк : ЛАНДОН-XXI, 2014. – 205 с.

9. Гутаревич, В. О. Гашение боковых колебаний подвижного состава шахтной подвешной монорельсовой дороги / В. О. Гутаревич, К. А. Рябко, Е. В. Рябко // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства : сборник тезисов докладов VI международной научно-технической конференции, Алчевск, 14–15 октября 2021 года. – Алчевск: Донбасский государственный технический институт, 2021. – С. 172-174.

10. Штейнвольф, Л.И. Динамические расчеты машин и механизмов / Л.И. Штейнвольф. – Москва-Киев: Машгиз, 1961. – 340 с.

**Gutarevich V.O., Ryabko K.A., Ryabko E.V.**

#### **JUSTIFICATION DAMPERING OF LATERAL VIBRATIONS PARAMETERS OF MINE SUSPENDED MONORAIL**

*The article is devoted to solving problem associated with lateral swinging of rolling stock of suspended monorail for mining enterprises. Purpose of the article is to reduce amplitude lateral swing of rolling stock that occurs during movement on suspended monorail track due to the use of damper fluctuations. A computational model of lateral oscillations of trolley during movement along suspended monorail track has been developed. Obtained equation for lateral oscillations of suspended monorail trolley. Studied processes of lateral rocking of trolley for different ratios of vibration damper parameters. Established conditions under which damper will be most effective.*

**Key words:** suspended monorail, rolling stock, vibrations, damper.

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

**E-mail:** viktor.gutarevich@mail.ru

**Gutarevich Victor**, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department «Transport Systems and Logistics», State Educational Establishment of Higher Education “Donetsk national technical university”.

**Рябко Константин Александрович**, канд. техн. наук, декан факультета «Управление на железнодорожном

транспорте», ГБОУ ВО «Донецкий институт железнодорожного транспорта».  
**E-mail:** railroader@yandex.ru

**Ryabko Konstantin**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Dean of the Faculty of Railway Transport Management, State budgetary educational institution of higher education "Donetsk institute of railway transport".

**Рябко Евгения Владимировна**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», ГБОУ ВО «Донецкий институт железнодорожного транспорта».

**E-mail:** evgeniya.ryabko@gmail.com

**Ryabko Evgeniia**, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Rolling Stock of Railways, State budgetary educational institution of higher education "Donetsk institute of railway transport".

**Рецензент: Губачева Лариса Александровна**, д-р техн. наук, профессор, Институт гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 17.05.2022*

УДК 656.1

## МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

Макарова И.В., Бойко А.Д., Гумеров Р.А.

## METHODS OF ENSURING THE SAFETY OF PERSONAL MOBILITY EQUIPMENT

Makarova I.V., Boyko A.D., Gumerov R.A.

*Статья посвящена решению проблемы безопасности средств индивидуальной мобильности. В статье рассмотрен российский и зарубежный опыт по решению данной проблемы. Были найдены различные методы обеспечения безопасности пользователей СИМ с учетом погодной специфики центральной России. Также найдены различные методики по оценке безопасности транспортной инфраструктуры города.*

**Ключевые слова:** средства индивидуальной мобильности, безопасность, транспортная инфраструктура, велосипед.

**Введение.** Езда на велосипеде как способ передвижения имеет социальные, экономические и экологические преимущества. Однако взаимодействие велосипедиста с дорожной средой воспринимается как опасность. Они сталкиваются с непропорционально высокой долей риска на дорогах, например, в Великобритании риск незначительного ДТП с участием велосипедиста на миллиард миль, составляет 4450; это самый высокий показатель среди всех участников дорожного движения и в 12,5 раз выше [1], чем у автомобилей на то же пройденное расстояние.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На долю транспорта приходится 25% выбросов парниковых газов [2]. Крайне важно сократить выбросы, чего можно достичь за счет перехода к более экологичным видам транспорта, таким как езда на велосипеде. Для этого крайне важно повысить безопасность езды на велосипеде как способа передвижения, поскольку его безопасность и количество пользователей данного транспорта взаимосвязаны.

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

Устойчивое развитие транспорта должно быть составной частью стратегий по проектированию городов и пригородов в соответствии с принципами планирования их разумного роста. Градостроительство в соответствии с этими принципами помогает снизить

зависимость от личного автотранспорта и обеспечивает поддержку преимущественного использования систем общественного и немоторизованного транспорта для ежедневных поездок и поездок на короткие расстояния.

Продвижение к более устойчивым видам транспорта оказывает положительное воздействие при условии регулирования связанных с безопасностью дорожного движения последствий. Такие последствия включают повышение уровней физической активности, снижение выбросов и уровня шума, уменьшение дорожных «пробок» и создание городов, удобных для жизни.

Езда на велосипеде является эффективным способом использования дорогостоящего и дефицитного пространства в городских районах и является здоровой, чистой и дешевой. Велосипед имеет огромный потенциал, поскольку почти половина всех автомобильных поездок в городах составляет менее пяти километров.

Выявление угроз безопасности велосипедистов в транспортной сети позволяет критически оценить предпочтения велосипедистов. Окружающая среда, погода, факторы, связанные с работой, влияют на повседневные поездки на велосипеде. Опасности, связанные с ездой на велосипеде, также зависят от конкретных характеристик велосипедиста, таких как возраст, опыт и пол. Исследование выбора маршрута, проведенное в Техасе, показало, что выбор маршрута велосипедиста зависит от характеристик маршрута и демографии велосипедиста. Предпочтения велосипедиста в маршрутной сети зависят от его личных качеств и поведения других участников дорожного движения. Работа над околоаварийными ситуациями велосипедистов в Лондоне привела к выводу, что возрастная группа велосипедиста напрямую влияет на их ежедневные околоаварийные ситуации. Количество инцидентов в день уменьшается с возрастом с 2,47 (20-29 лет) до 1,85 (60 групп) [3]. Установлено, что эти околоаварийные ситуации коррелируют с авариями. Аналогичные результаты были получены в Германии, где был сделан вывод о том, что велосипедисты разных возрастных групп поразному используют инфраструктуру и демонстрируют разное поведение на дорогах.

Для реализации видения умных городов, то есть городов, которые являются пригодными для жизни, устойчивыми и жизнеспособными, необходимо отойти от ориентированной на автомобили мобильности и перейти к более экологичным видам транспорта, продвигая при этом мультимодальную мобильность. Велосипеды предлагают многообещающую альтернативу личным транспортным средствам, особенно в районах с загруженными дорогами, плохим качеством воздуха и высокими ценами на топливо. За последние годы соответствующая инфраструктура (велосипедные дорожки, велосипедные стоянки и т.д.) и услуги (велошеринг) значительно выросли. Эти инвестиции привели к увеличению воспринимаемой и фактической безопасности, и имеют положительную обратную связь о склонности людей ездить на велосипеде. Несмотря на увеличение количества пассажиров, доля людей, регулярно пользующихся велосипедами, все еще относительно мала по сравнению с другими видами транспорта.

Результаты исследования основанного на данных Лондона, Бостона и Питтсбурга показали, что наличие защищенных велосипедных дорожек связано со значительным повышением безопасности езды на велосипеде [4]. Кроме того, ограничение скорости, топология улицы расстояние до перекрестка также являются хорошими предикторами серьезности велосипедной аварии.

С развитием экономики совместного использования электрические велосипеды, которые определяются как двухколесные велосипеды с батареями в качестве вспомогательной энергии, возможностью езды на педалях и функцией подключения электрического привода, становятся все более популярным и распространенным видом личного транспорта.

Так, исследование, проведенное в Китае, показало, что на конец 2018 года количество электровелосипедов (E-bikes) в Китае достигло 250 миллионов [5]. Дорожно-транспортные происшествия с участием электровелосипедов происходили часто, и на их долю приходилось около 36,3% всех дорожно-транспортных происшествий с двухколесным транспортом [6]. С развитием технологий безопасности автомобилей количество дорожно-транспортных происшествий и погибших в результате дорожно-транспортных происшествий в Китае значительно сократилось. Однако количество смертельных случаев в авариях на электровелосипедах не уменьшилось, а скорее увеличилось (по данным ежегодного статистического отчета КНР за 2017 год). Статистические результаты и эпидемиологические исследования аварий с электровелосипедом показали, что тяжелые травмы головы, такие как перелом черепа, субдуральная гематома, были наиболее частыми травмами, полученными велосипедистами на электровелосипеде и может привести к смерти. Поэтому защита головы велосипедистов недавно стала одним из основных направлений исследований безопасности электровелосипедов.

### **Погодная специфика. Зарубежный опыт.**

Широкое применение средств индивидуальной мобильности в центральной России останавливается тяжелыми погодными условиями, особенно зимой. Большое количество снега, слабая готовность городских служб, и неподготовленность пользователей СИМ к использованию транспорта в холодную погоду. Рассмотрим решение данных проблем, описанных в зарубежных статьях, примененных в странах с схожими погодными условиями.

Пучер и Бюлер исследовали различия между Соединенными Штатами и Канадой в доле поездок на велосипеде на работу [7]. Доля поездок на велосипеде на работу была уменьшена по нескольким потенциальным показателям для 59 штатов и провинций в двух странах. Значимые предикторы включали погодные переменные (осадки и температуру) и политические переменные (цены на бензин и уровень смертности при езде на велосипеде); средняя продолжительность поездки на работу была значительной.

Результаты опроса сотрудников двух крупных фирм в Швеции, где общая доля поездок на велосипеде составила 11%. [8] Эти исследования были сосредоточены на оценке потенциала увеличения доли поездок на велосипеде в зимний период. Расстояние, пройденное до работы, и время года были важными факторами, определяющими выбор способа передвижения, причем влияние фактора расстояния зимой было больше, чем летом. Всесезонные велосипедисты высоко оценили такие факторы: физические упражнения, стоимость и окружающую среду. Велосипедисты, передвигающиеся только летом, сообщали о высокой важности температуры, погоды и дорожных условий. Темнота, неожиданно, не была придана большого значения как фактор ни одной категорией участников опроса. Респонденты сообщили о потенциальном увеличении числа поездок на велосипеде зимой, если условия дорожного покрытия будут улучшены, и очистка от снега была наиболее важной из дорожных условий, упомянутых респондентами. В этом отчете предполагается, что в Швеции выбор между автомобилем и велосипедом зависит, в частности, от погодных и сезонных факторов, и что некоторые из этих факторов могут быть устранены с помощью политики развития инфраструктуры и технического обслуживания.

Совместное использование велосипедов может как увеличить, так и уменьшить использование общественного транспорта в зависимости от обстоятельств и условий эксплуатации. Во многих городах общественный прокат велосипедов сократил количество поездок на автомобиле, использование такси и использование общественного транспорта, такого как железнодорожный, автобусный и пешеходный. Люди, предпочитают ездить на велосипеде, и исследования показывают сдвиг в модальности среди тех городов, где есть обмен велосипедами. В некоторых случаях совместное использование велосипедов увеличило число людей,

пользующихся различными другими видами общественного транспорта [9; 10; 11]. Авторы провели исследование для анализа динамики смены режимов общественного транспорта в ответ на программу обмена велосипедами в двух городах США: Вашингтоне, округ Колумбия, и Миннеаполисе, и обнаружили, что смена режимов общественного транспорта наиболее заметна в основных городских условиях с высокой плотностью населения, поскольку обмен велосипедами предлагает более быстрые, дешевые и прямые стыковки для коротких поездок, которые ранее совершались общественным транспортом. Однако переход к общественному транспорту более распространен в районах с низкой плотностью населения на городской периферии, поскольку совместное использование велосипедов обеспечивает новые соединения, устраняя разрыв в существующих транспортных сетях путем решения проблем первой и последней мили. Следовательно, совместное использование велосипедов может в большей степени дополнять общественный транспорт в сообществах малого и среднего размера и может заменить общественный транспорт в крупных городах.

Геххарт и Ноланд [12] изучили влияние погодных условий на поездки на велосипедах в Вашингтоне, округ Колумбия, проанализировав данные о поездках за час в столице и сопоставив их с почасовыми данными о погоде. Исследование показывает, что неблагоприятные погодные условия, такие как низкие температуры, дождь, высокая влажность и повышенная скорость ветра, снизили активность велосипедистов. Кроме того, количество поездок на велосипеде значительно увеличивается при температуре, близкой к 90 °F. Аналогичные результаты были также получены в исследовании [13], проведенном для системы обмена велосипедами в Торонто, Канада. Они обнаружили возросший спрос на прокат велосипедов, когда станции проката велосипедов были расположены рядом с университетскими городками и транзитными станциями. Наличие инфраструктуры для совместного использования велосипедов, такой как велосипедные дорожки и велосипедные дорожки, также сыграло решающую роль в увеличении спроса на велосипеды.

Общепринятыми методами удаления снега с проезжей части с помощью велосипедной дорожки являются:

1) удаление снега с проезжей части и перемещение на место хранения

2) уборка снега с проезжей части как можно ближе к краю проезжей части или вдоль буфера тротуара, если таковой существует.

Более поздний метод используется в большинстве программ по обслуживанию дорожного полотна, и в этом случае велосипедные дорожки превращаются в места для хранения снега, создавая небезопасные и неудобные условия для велосипедистов на дорогах. Велосипедные дорожки можно сделать более безопасными для зимних перемещений, адаптируя различные идеи по

планированию и проектированию проезжей части, такие как:

1) Обеспечение достаточного права проезда на новых дорогах или проекты реконструкции проезжей части, включающие велосипедные дорожки для эффективной работы на велосипеде, а также позволяющие снегоочистителям, установленным на грузовиках, расчищать снег.

2) Обеспечение минимального буферного пространства шириной пять футов между велосипедной дорожкой и тротуаром для обеспечения достаточного хранения снега

3) Если велосипедная дорожка расположена между уличной парковкой и полосами движения транспортных средств, ограничьте парковку на улице во время снегопадов на дорогах, чтобы это пространство стало местом для хранения снега

4) Обеспечение уличных сооружений или велосипедных бульваров наряду с надлежащим обслуживанием

5) Обеспечение достаточно широких велосипедных дорожек на узких дорогах, чтобы для уборки снега можно было использовать пикапы с установленными снегоочистителями. Однако для расчистки защищенных велосипедных дорожек могут потребоваться небольшие специализированные транспортные средства

6) Нанесение термопластичной дорожной разметки на участки дорожного покрытия, которые были отфрезерованы на глубину более трех миллиметров, чтобы уменьшить повреждения от снегоуборочных машин [14].

**Выводы.** Безопасность езды на велосипеде является важной темой, но существует ограниченное количество исследований, в которых изучается риск их воздействия на велосипеде. Кроме того, существует необходимость в возможностях оценки безопасности экспериментальных конструкций дорог и/или оперативных стратегий до того, как они будут построены или использованы в полевых условиях. Поэтому необходимо разработать модель безопасности дорожного движения, учитывающую это динамическое изменение безопасности. Такая модель должна моделировать безопасность, основанную на характеристиках велосипедиста, и должна быть работоспособной даже при первоначальном планировании и проектировании велосипедной сети.

### Л и т е р а т у р а

1. Bill E, Rowe D, Ferguson N (2015) Does experience affect perceived risk of cycling hazards?. Scottish Transp Appl Res Conf pp. 1–19.
2. Wardman M, Hatfield R, Page M (1997) The UK national cycling strategy: can improved facilities meet the targets? Transp Policy 4:123–133. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(97\)00011-5](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(97)00011-5)
3. Malik, F.A., Dala, L. & Busawon, K. Deep neural network-based hybrid modelling for development of the cyclist infrastructure safety model. Neural Comput & Applic 33, 11603–11616 (2021)

4. Daraei, S., Pelechrinis, K. & Quercia, D. A data-driven approach for assessing biking safety in cities. EPJ Data Sci. 10,11 (2021)

5. Wenrui Gao, Zhonghao Bai, Feng Zhu, Clifford C. Chou, Binhui Jiang. A study on the cyclist head kinematic responses in electric-bicycle-to-car accidents using decision-tree model. Accident Analysis & Prevention. Volume 160. 2021.

6. Chen, Q. and Dai, B., "Characteristics and Casualty Analysis of Two-Wheeler Accidents in China, Data Source: The China In-Depth Accident Study (CIDAS)," SAE Technical Paper 2018-01-1052, 2018

7. Pucher, J., and R. Buehler. Why Canadians Cycle more than Americans: A Comparative Analysis of Bicycling Trends and Policies. Transport Policy, Vol. 13, 2006, pp. 265–279.

8. Bergstrom, A., and R. Magnusson. Potential of Transferring Car Trips to Bicycle During Winter. Transportation Research Part A, Vol. 37, No. 8, 2003, pp. 649–666.

9. Martin, E. W., & Shaheen, S. A. (2014). Evaluating public transit modal shift dynamics in response to bikesharing: A tale of two U.S. cities. Journal of Transport Geography, 41, 315–324.

10. Shaheen, S. A., Martin, E. W., Cohen, A. P., & Finson, R. (2012). Public bikesharing in north America: Early operator and user understanding. San Jose, CA: Mineta Transportation Institute.

11. Shaheen, S. A., Martin, E. W., & Cohen, A. P. (2013). Public bikesharing and modal shift behavior: a comparative study of early bikesharing systems in north America. International Journal of Transportation, 1(1), 35–54.

12. Gebhart, K., & Noland, R. (2014). The impact of weather conditions on bikeshare trips in Washington, DC. Transportation, 41(6), 1205–1225.

13. El-Assi, W., Mahmoud, M., & Habib, K. (2015). Effects of built environment and weather on bikesharing demand: A station level analysis of commercial bikesharing in Toronto. Transportation, 1–25. <http://link.springer.com/article/10.1007/s11116-015-9669-z>

14. Cebe, J. (2014). Winter bike lane maintenance: A review of national and international best practices. Portland: Alta Planning + Design.

**Makarova I.V., Boyko A.D., Gumerov R.A.**

#### **METHODS OF ENSURING THE SAFETY OF PERSONAL MOBILITY EQUIPMENT**

*The article is devoted to solving the problem of the safety of personal mobility equipment. The article discusses Russian and foreign experience in solving this problem. Various methods were found to ensure the safety of SIM users, taking into account the weather specifics of central Russia. Various methods for assessing the safety of the city's transport infrastructure have also been found.*

**Key words:** means of individual mobility, safety, transport infrastructure, bicycle.

**Макарова Ирина Викторовна**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедры «Сервис Транспортных Систем», Набережночелнинский институт КФУ.

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

**Makarova Irina V.**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department «Service of Transport Systems», Naberezhnye Chelny Institute of KFU.

**Бойко Алексей Дмитриевич**, заведующий лабораторией кафедры «Сервис Транспортных Систем», Набережночелнинский институт КФУ.

**E-mail:** boykoaleksey94@gmail.com

**Boyko Aleksey D.**, Head of the Laboratory of the Department "Service of Transport Systems", Naberezhnye Chelny Institute of KFU.

**Гумеров Рустем Айратович**, студент бакалавр, кафедры «Сервис Транспортных Систем», Набережночелнинский институт КФУ.

**E-mail:** aleks20o@mail.ru

**Gumerov Rustem A.**, bachelor student, of the Department «Service of Transport Systems», Naberezhnye Chelny Institute of KFU.

**Рецензент: Кулаков Александр Тихонович**, д.т.н., проф., зав. кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережной Челны.

*Статья подана 22.03.2022*

УДК 621.436

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Макарова И.В., Габсалихова Л.М., Мухаметдинов Э.М.,  
Буйвол П.А., Галиев Ш.А.

## ENSURING RELIABILITY OF THE TRANSMISSION DURING OPERATION STAGE

Makarova I.V., Gabsalikhova L.M., Mukhametdinov E.M.,  
Buyvol P.A., Galiev S.A.

*Значительная доля затрат и простоев в ремонте приходится на агрегаты трансмиссии, в том числе на коробку передач. Одной из основных причин таких высоких затрат по трансмиссии является сложившаяся структура эксплуатационно-ремонтного цикла, при которой используется стратегия ожидания отказов, в результате чего работоспособность обеспечивается в основном за счет капитального ремонта и сложного текущего ремонта с большим расходом запасных частей и простоями в ремонте. В данной работе будет рассмотрен одно из наиболее дорогостоящих ремонтов коробок передач ZF, обусловленный разрушением переднего подшипника вторичного вала при рекламациях из эксплуатации. При исследовании коробок передач, поступивших с подобным дефектом, состояние деталей коробки передач не позволяют вынести однозначного решения по причине дефекта вследствие критического разрушения сопряженных деталей. На основании имеющихся исследований и научной литературы в области эксплуатации коробок передач предполагается провести анализ и выявить коренные причины выхода из строя коробки передач в эксплуатации.*

**Ключевые слова:** эксплуатационная надежность, коробка передач, отказ.

**Введение.** Ежегодно спрос на автомобили возрастает. Однако растет и число критических отказов [1]. Необходимость увеличения эффективности использования автомобильного транспорта и обеспечения выполнения необходимого объема транспортной работы с минимальными затратами требует постоянной работы по повышению надежности автомобилей. Система обеспечения работоспособности агрегатов базируется на закономерностях изменения технического состояния в процессе эксплуатации, обусловленные действием различных факторов конструктивно-технологического, эксплуатационного и организационно-технического характера.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Одной из главных характеристик грузовых автомобилей, обеспечивающих их надежность, являются агрегаты трансмиссии. В соответствии с высокими ожиданиями и

требованиями клиентов к машинам, разработка надежных продуктов имеет решающее значение. Кроме того, по соображениям конкурентоспособности необходимо как можно точнее знать будущий срок службы продукта [2].

Одним из классификационных признаков отказа является причина возникновения дефекта, которая делится на три основных типа: конструкционная, производственная и эксплуатационная.

**Конструкционный отказ** возникает вследствие несовершенства и дефектов конструкции, причинами являются ошибки в разработке и проектировании агрегата, занижение запасов прочности, нарушение норм ГОСТ.

**Производственный отказ** — это отказ, обусловленный нарушением технологии производства или ошибками, возникающими вследствие присутствия человеческого фактора. Причинами производственных отказов являются: несоблюдение технических норм документации, применение некачественных комплектующих, недостаточный уровень контроля качества производства.

**Эксплуатационный отказ** — это отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации. Эксплуатационные отказы возникают вследствие использования объектов в условиях, для которых они не предназначались, нарушения правил эксплуатации (перегрузки, несвоевременное проведение технического обслуживания (ТО) и ремонта, применение не соответствующих требованиям смазочных материалов, несоблюдение правил транспортировки и хранения). Например, при нарушениях правил ТО период наработки до отказа КП может уменьшиться более чем в 3 раза в результате поступления в картер воздуха с абразивной пылью или влаги с внешней среды.

Исследованию изменения технического состояния в работах агрегатов трансмиссии и изменению их конструкции посвящены работы [3-

7]. В результате использования рекомендаций этих исследований в производстве и эксплуатации значительно повысилась надежность агрегатов трансмиссии автомобилей и других машин, снижены затраты на обеспечение их работоспособности в эксплуатации.

В рамках обозначенной проблематики в данном исследовании будет проведен анализ причин возникновения дефектов, установлен закон распределения числа отказов от пробега, а затем предложены мероприятия для повышения надежности данного узла.

#### Изложение основных материалов.

**Выявление наиболее распространенных дефектов коробки передач.** С момента начала применения коробок передач (КП) ZF на автомобилях КАМАЗ основной причиной выхода из строя была буксировка автомобиля на нейтральной передаче, без отсоединения карданного вала. В этом случае вращение промежуточного вала отсутствует, маслянасос остановлен, поэтому подшипник работает в условиях масляного голодания. Наиболее серьезные повреждения детали возникают, если демультипликатор коробки передач остался включенным в пониженный диапазон.

Классификация основных неисправностей и отказов КП ZF на начальном этапе эксплуатации представлена на рис. 1

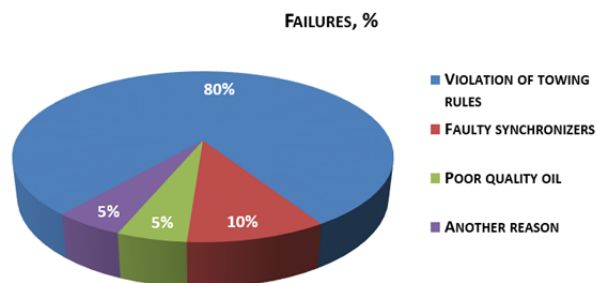


Рис.1. Рекламации по видам из эксплуатации КП

Исследуемая проблема связана с разрушением подшипника вторичного вала, представляющий из себя роликовый конический радиально упорный подшипник, имеющий размер 42,07 x 82,904 x 40,386, см.

Подшипник устанавливается на цапфу вторичного вала, фиксируется двумя разрезными полукольцами разной толщины, в зависимости от зазора установочной канавки. Наружной обоймой подшипника является коническая поверхность полости первичного вала, смазывание осуществляется с централизованной системы смазки, масло подается через отверстие в маслорепускном дросселе.



Рис. 2. Подшипник вторичного вала

В процессе анализа отказа подшипника вторичного вала выделяются следующие производственные факторы: неправильный подбор регулировочных полуколец, повреждение подшипника или его частей при установке, неправильная / не установка маслосодержащего кольца (следствие - масляное голодание в момент запуска), повреждение подшипника при хранении и транспортировке, установка некачественного подшипника, повреждение при стыковке с силовым агрегатом, применение вала с отклонениями от требуемых размеров (посадка с чрезмерным или прослабленным натягом).

Эксплуатационными причинами КП из строя являются следующие факторы: движение накатом, неверная направленность нагрузки (торможение двигателем), эксплуатация автомобиля на высокой передаче с низкой скоростью, нарушение требований условия буксировки, применение не рекомендованных смазочных материалов.

Выход из строя КП по вине подшипника является группировочным признаком. Для составления статистического ряда информация была разбита на  $n$  равных интервалов. Число интервалов статистического ряда определялось по формуле Г.А. Стерджесса:

$$n = 1 + 1,44 \ln(N), \quad (1)$$

где  $N = 30$  – число элементов статистического ряда.

$$n = 1 + 1,44 \ln(30) = 5,94 \approx 6.$$

Длина интервала

$$A = (t_{\max} - t_{\min}) / n, \quad (2)$$

где  $t_{\max}$  и  $t_{\min}$  — наибольшее и наименьшее значения показателя надежности в сводной таблице информации.

$$A = (91302 - 1126) / 6 = 15029 \text{ км}.$$

За начало первого интервала принимался минимальный пробег, результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов

| Нижняя граница<br>$t_i$ | Верхняя граница<br>$t_{i+1}$ | Середина интервала<br>$t^*$ | Частоты<br>$m_i$ | Накопленные частоты |
|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------|
| 1126                    | 16155,34                     | 8640,67                     | 17               | 17                  |
| 16155,34                | 31184,68                     | 23670,01                    | 8                | 25                  |
| 31184,68                | 46214,02                     | 38699,35                    | 3                | 28                  |
| 46214,02                | 61243,36                     | 53728,69                    | 0                | 28                  |
| 61243,36                | 76272,70                     | 68758,03                    | 1                | 29                  |
| 76272,70                | 91302,04                     | 83787,37                    | 1                | 30                  |
| Сумма:                  |                              |                             | 30               |                     |

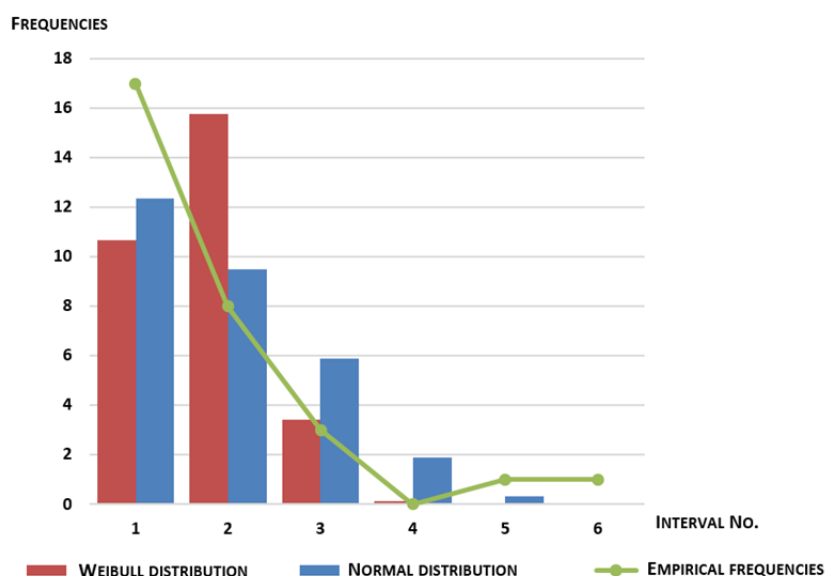


Рис. 3. Диаграмма проверки гипотез

По результатам анализа надежности в гарантийный период эксплуатации и проведенных расчетов по отказу подшипника вторичного вала установлено, что выборка подчинена нормальному закону распределения.

#### Предлагаемые мероприятия по повышению надежности КП

**Изменение конструкции.** Расчет подшипника на прочность показал, что долговечность и статистическая грузоподъемность переднего подшипника вторичного вала обеспечены. На наивысшей передаче КП передаточное отношение равно «1», т.е. первичный и вторичный валы заблокированы синхронизатором четвертой передачи и вращаются с одинаковой угловой скоростью, соответственно, подшипник находится в состоянии покоя и при отсутствии вибрации, воздействие на подшипник минимально. Иная картина складывается при эксплуатации на низших передачах, а именно при движении на спуске, в момент, когда происходит торможение, в том числе за счет двигателя, подшипник вторичного вала воспринимает максимальные нагрузки, учитывая

особенности распределения сил в косозубой передаче, в определенные моменты нагрузки на подшипник могут быть критическими.

Система смазки КП Ecosplit устроена таким образом, что масло в нишу первичного вала и скользящую поверхность шестерни делителя подводится через отверстие в маслоперепускном дросселе, расположенном со смещением от оси вращения вторичного вала. Такие факторы как превышение максимально допустимых оборотов двигателя, неправильная стратегия выбора передач основного редуктора КП, ошибочное переключение передач демультипликатора, могут привести к масляному голоданию и перегрузке подшипника, и как следствие к разрушению и отказу КП в целом.

По данному виду отказа были проведены исследования и установлено, что одной из причин отказа является недостаток смазки и высокие осевые нагрузки. По результатам, в 2010 году было внедрено изменение в конструкцию КП: увеличен диаметр маслоперепускного отверстия в дросселе с 2,0 до 2,5 мм, целью которого является подача большего объема масла.

Расширение диаметра маслоперепускного отверстия обеспечивает поступление большего количества масла, обеспечивая тем самым отведение тепла от трущихся деталей и улучшение процесса смазки.

**Замена роликового радиального упорного подшипника.** На основе проведенного анализа можно утверждать, что причиной отказа являются эксплуатационные факторы, один из них — это кратковременные динамические перегрузки, возникающие при изменении направления силового потока, нагружающего роликовый конусный подшипник, например, при торможении двигателем. Для автомобилей, эксплуатирующийся в горной местности, существует вариант КП с интардером (гидродинамический тормоз-замедлитель), которая отлично зарекомендовала себя как вспомогательная тормозная система, но стоимость автомобилей с дополнительными агрегатами высока и перевозчики, как правило, предпочитают автомобили стандартной комплектации. При длительной эксплуатации в горной местности с максимальной нагрузкой водителями используется торможением двигателем на высоких оборотах на низших передачах КП для разгрузки основной тормозной системы. Как отмечалось ранее, такой процесс сопровождается максимальной нагрузкой передних подшипников КП.

Немаловажную роль в возникновении отказа играет вибрация. На наивысшей передаче скорость вращения первичного и вторичного валов одинаковы, т.е. подшипник не совершает вращения относительно тел качения и при наличии даже незначительной вибрации (например, влияние сцепления) порождаются малые относительные перемещения между телами качения подшипника и под влиянием подобного процесса со временем на дорожках качения образуются углубления. Учитывая тот фактор, что максимальное время эксплуатации автомобиля осуществляется на наивысшей передаче, влияние вибрации может оказаться критическим. При снижении скорости происходит переключение на более низкие передачи, изменяются угловые скорости вращения первичного и вторичного валов, подшипник начинает вращаться и наличие даже небольшой выработки на телах качения может привести к скольжению тел качения относительно колец подшипника без вращения роликов, что приводит к заклиниванию подшипника. Как одно из решений, изменить конструкцию вторичного и первичного валов, по аналогии с КП моделей ZF Astronic и Tгахon, где данный узел имеет иное конструктивное решение, и использовать два подшипника: роликовый цилиндрический подшипник для восприятия только радиальных нагрузок и опорный подшипник для осевых сил.

Подобная конструкция влечет за собой изменение конструкции первичного и вторичного вала, внедрения новых деталей и дополнительных

регулирующих операций в процессе сборки, увеличению трудоемкости и времени сборочных операций, следовательно, приведет также к значительному удорожанию стоимости КП.

**Изменение системы смазки.** Для безотказной работы подшипника необходимо обеспечение несущего смазочного слоя, который не может возникнуть, если количество смазки недостаточно или смазка утратила смазывающие свойства. В подобных условиях возникает металлический контакт между телами и дорожками качения. На начальном этапе износ реализует процесс притирания: микроскопические малые вершины шероховатости, образующиеся в процессе механической обработки, срезаются и достигается эффект прикатывания и поверхность выглядит зеркально гладкой. При недостатке смазки происходит значительный рост температуры, который при определенных ситуациях может привести к заклиниванию подшипника. Дополнительно, при недостатке смазывающего слоя на поверхностях тел качения могут появляться мельчайшие трещины, которые в процессе эксплуатации быстро увеличиваются, препятствуя плавному вращению подшипника. Подобные трещины укоряют процесс образования усталостных трещин под поверхностью дорожек качения, снижая долговечность подшипника.

Для обеспечения достаточного смазывания предлагается изменить систему смазки, используя вторичный вал с минимальными конструктивными изменениями: ввести два дополнительных радиальных отверстия на месте установки внутренней обоймы подшипника, что также будет препятствовать появлению фреттинг-коррозии.

Нарушение гидродинамического режима и наличие пиковых нагрузок, возможно также сочетание обеих факторов, может быть причиной потери работоспособности подшипника и КП в целом.

**Результаты исследований.** 1. По результатам анализа надежности в гарантийный период эксплуатации и проведенных расчетов по отказу подшипника вторичного вала установлено, что выборка подчинена нормальному закону распределения. Проведен проверочный расчет переднего подшипника по средним, длительно действующим нагрузкам, без учёта кратковременных максимальных нагрузок. По результатам можно утверждать, что динамическая грузоподъемность переднего подшипника обеспечена, статическая работоспособность заложена на весь срок службы КП.

2. На основе анализа установлено, что наиболее вероятной причиной отказа являются кратковременные пиковые нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации, учитывая особенность распределения сил в косозубом зацеплении.

3. При наличии вибрации от сцепления или двигателя, в узле возникает процесс малого

передвижения тел качения подшипника, в результате которых ролики образуют бороздки, при переключении на более низкий диапазон происходит не вращение роликов, а скольжение, что приводит к перегреву и заклиниванию подшипника.

**Выводы.** Проведен анализ системы смазки подшипника с обзором внедренных изменений, но существующая система не обеспечивает в полной мере смазывание при пиковых нагрузках и отвод тепла от тел качения подшипника. Предложено два решения: изменить узел - использовать два различных по назначению подшипника, либо изменить систему смазки с целью обеспечения необходимого смазывания.

**Благодарность.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-06008 \ 21.

### Л и т е р а т у р а

1. B. Bertsche, "Reliability in automotive and mechanical engineering", VDI-Buch. Springer-Verlag, Berlin, 2008.
2. L. Woll G. Jacobs A. Feldermann, "Sensitivity Analysis on the Reliability of an Offshore Winch Regarding Selected Gearbox Parameters", *Modeling, Identification and Control*, vol. 38, No. 2, pp. 51–58, 2017.
3. J. Liang, P. D. Walker, J. Ruan, H. Yang, J. Wu, N. Zhang, "Gearshift and brake distribution control for regenerative braking in electric vehicles with dual clutch transmission", *Mechanism and Machine Theory*, vol. 133, pp. 1-22, 2019.
4. V. V. Deryusheva, V. V. Kosenko, D. S. Zagutin, R. M. Arakelyan, V. S. Krymsky, "The motor vehicles transmission number optimum management", *AIP Conference Proceedings*, vol. 2188, 020010, 2019. DOI: 10.1063/1.5138384.
5. P.A. Ilyuchyk, R.A. Basalai, "Modernizing the variable transmission as a way of improving the efficiency of dump trucks operation", *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources*, pp.378-385, 2019.
6. Макарова И.В., Кулаков А.Т., Мухаметдинов Э.М., Габсалихова Л.М., Васильев А.В. Диагностирование и оперативный контроль остаточного ресурса узлов и агрегатов автомобиля. Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2018. № 2. С. 54-60.
7. Хабибуллин Р.Г., Макарова И.В., Беляев Э.И., Мухаметдинов Э.М. Предупреждение отказов как основа повышения эксплуатационной надежности автомобилей. Автомобильная промышленность. 2013. № 7. С. 20-23.

**Makarova I.V., Gabsalikhova L.M.,  
Mukhametdinov E.M., Buyvol P.A., Galiev S.A.  
ENSURING RELIABILITY OF THE TRANSMISSION  
DURING OPERATION STAGE**

*A significant proportion of the costs and downtime in repairs are accounted for transmission units, including the gearbox. One of the main reasons for such high transmission costs is the current structure of the maintenance and repair cycle, which uses a strategy of waiting for failures. As a result the operability is ensured mainly through overhauls and complex current repairs with a large consumption of spare parts and downtime in repairs. In this paper, we considered one of the most expensive repairs of ZF gearboxes, due to the destruction of the front output shaft bearing during complaints from operation. When examining gearboxes received with a similar defect, the condition of the gearbox parts does not allow to make an unambiguous decision about a defect due to the critical destruction of the jointed parts. Based on the*

*available research and scientific literature in the field of transmission operation, we proposed to analyze and identify the root causes of transmission failure in operation.*

**Key words:** operational reliability, gearbox, failure.

**Макарова Ирина Викторовна**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем» Набережночелнинского института (филиала) КФУ. Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации.  
**E-mail:** kamIVM@mail.ru

**Makarova Irina Viktorovna**, doctor of sciences (Eng) chair of the Transport Systems Service Department, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation.

**Мухаметдинов Эдуард Мухаматзакиевич**, к.т.н., доцент кафедры «Сервис транспортных систем» Набережночелнинского института (филиала) КФУ.  
**E-mail:** funte@mail.ru

**Mukhametdinov Eduard Mukhamatzakievich**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Transport Systems Service Department, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University.

**Габсалихова Лариса Мухаматзакиевна**, к.т.н., доцент кафедры «Сервис транспортных систем» Набережночелнинского института (филиала) КФУ.  
**E-mail:** muhametdinoval@mail.ru

**Gabsalikhova Larisa Mukhamatzakievna**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Transport Systems Service Department, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University.  
**E-mail:** muhametdinoval@mail.ru

**Буйвол Полина Александровна**, к.т.н., доцент кафедры «Сервис транспортных систем» Набережночелнинского института (филиала) КФУ.  
**E-mail:** skyeyes@mail.ru

**Buyvol Polina Aleksandrovna**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Transport Systems Service Department, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University.

**Галиев Шамиль Альбертович**, магистр по направлению подготовки 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Магистерская программа «Автосервис и фирменное обслуживание».  
**E-mail:** galiev.shamil@bk.ru

**Galiev Shamil Albertovich**, Master in the field of study 23.04.03 "Operation of transport and technological machines and complexes." Master's program "Car service and company service".

**Рецензент: Кулаков Александр Тихонович**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта» Набережночелнинского института (филиала) КФУ.

Статья подана 22.03.2022

УДК 629.11

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОБУСОВ НЕФАЗ

Макарова И.В., Мухаметдинов Э.М., Габсалихова Л.М., Мавляутдинова Г.Р.

### RELIABILITY STUDY OF NEFAZ BUSES

Makarova I.V., Mukhametdinov E.M., Gabsalikhova L.M., Mavlyautdinova G.R.

*Общественный транспорт играет важную роль в обеспечении устойчивости и безопасности транспортной системы города. Для достижения этой цели важнейшей задачей обеспечения надежной и безопасной эксплуатации автобусов является их поддержание в технически исправном состоянии. В особенности это касается автобусного парка на альтернативном топливе. Анализ информации, об эксплуатации газобаллонных автобусов НЕФАЗ, предоставленной АО «РариТЭК Холдинг» г. Набережные Челны, позволил выявить основные их дефекты и построить законы распределения отказов, возникающих в гарантийный и постгарантийный периоды эксплуатации, в зависимости от пробега. Своевременное выявление неисправностей путем непрерывного или периодического мониторинга состояния ответственных агрегатов в процессе эксплуатации позволяет оперативно реагировать на развивающийся дефект и предотвращать часть вероятных отказов.*

**Ключевые слова:** надежность, автобус, альтернативные виды топлива, экологичность транспорта, неисправность, отказ, узел, система, сервис.

**Введение.** Общественный транспорт играет важную роль в достижении целей в области устойчивого развития городских транспортных систем. Увеличение численности мирового автомобильного парка и, как следствие, рост объемов потребления бензина и дизельного топлива, вызывает усугубление негативных последствий, оказываемых автотранспортом на окружающую среду и здоровье человека. В целом ряде стран большое внимание уделяется применению альтернативных видов топлива на автотранспорте вместо бензинового и дизельного.

Одним из актуальных направлений развития современного автомобилестроения является создание двигателей, использующих в качестве топлива компримированный природный газ (КПГ) [1].

Переход на КПГ или сжиженный природный газ (СПГ) вместо бензина и дизельного топлива является эффективным способом снижения загрязнения от автомобильного транспорта. КПГ и СПГ могут стать идеальным вариантом перехода к более устойчивой и менее углеродоемкой мобильности в будущем. При этом необходимо решить ряд актуальных проблем, связанных с обеспечением надежной эксплуатации, одной из

которых является поддержание общественного транспорта в технически исправном состоянии.

Своевременно обнаруженная неисправность автотранспортного средства позволяет не только избежать возникновения дорожно-транспортных происшествий, но и снизить затраты на устранение проблем. С усложнением конструкции автобусов необходимо совершенствовать систему сервиса, в которой обеспечивается эксплуатационная надежность парка в целом. При этом своевременное обнаружение дефектов, выявление причин их возникновения и использование этих данных для прогнозирования отказов позволит решить эту задачу.

#### Результаты исследований.

**Пути повышения экологичности транспорта в городах.** Россия обладает самыми большими в мире запасами природного газа (19% от мировых или 151 трлн. м<sup>3</sup>), однако газомоторная отрасль пока развита слабо. Использование КПГ в качестве моторного топлива на общественном транспорте позволяет более рационально использовать изменяющуюся в настоящее время инфраструктуру топливно-энергетического комплекса России.

Идеальной площадкой для перевода транспорта на газомоторное топливо (ГМТ) может стать Приволжский федеральный округ, поскольку здесь сконцентрирована мощная производственная база, выпускающая широкую линейку газомоторной техники. При этом Татарстан является в этом плане безусловным лидером.

Основная причина активного развития рынка ГМТ в Республике Татарстан – это достаточное количество потребителей техники на ГМТ, начиная от пассажирских автотранспортных компаний, заканчивая парками спецтехники и машин коммунальных служб.

Расширение парка техники на ГМТ возможно лишь с одновременным развитием инфраструктуры, включая сети автосервиса и заправок. При этом следует учитывать, что важно решить вопрос не только общего количества заправок, но и их расположения. Особенность газомоторной техники заключается в том, что ее пробег на одной заправке ниже, чем у традиционной, что, в свою очередь, требует более плотного кольца заправочных станций, поэтому расширяются сети автомобильных

газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) [2].

Для возникновения на рынке газомоторного топлива самоподдерживающего эффекта ежегодный прирост парка заводской техники на природном газе должен составлять в течение ближайших пяти-семи лет не менее 25–30 тыс. транспортных средств.

Авторы работы [3] указывают, что для снижения объемов выбросов в городах необходимы управленческие решения в области как регулирования параметров транспортных потоков, так и оптимизации парка транспортных средств. Для регулирования видо-возрастной структуры парков выполняют его обновление, при этом заменяя транспортные средства на более экологичные. В этом отношении наиболее перспективные группы – логистические и автотранспортные компании, которые при соответствующем государственном стимулировании могут обновлять парк оптимальным для решения экологических проблем способом. Кроме того, поскольку городской транспортный поток имеет автобусы, развозные легкие грузовые автомобили, а также машины коммунальных служб, использующие в основном дизельное топливо, оценка эффективности замены используемых автотранспортных средств на их альтернативные аналоги осуществляется с учетом экономических, экологических и социальных критериев.

ПАО «КАМАЗ» постоянно расширяет модельный ряд газомоторных автомобилей. Сегодня предлагается широкая линейка газобаллонной автотехники – это коммунальная, дорожно-строительная, специальная техника КАМАЗ, автокраны, седельные тягачи, а также собираемые на шасси КАМАЗа автобусы НЕФА3.

В рамках данной работы анализируется статистика отказов автобусов, полученная в АО «РариТЭК ХОЛДИНГ» г. Набережные Челны, содержащая данные о неисправностях автотехники, поступавшей в компанию для их устранения с января 2021 года по февраль 2022 года.

**Методы повышения надежности автобусов.** Наиболее полную информацию о надежности автотранспортных средств, их агрегатов и систем можно получить из эксплуатационных испытаний. Поскольку в настоящее время понятие «подконтрольная эксплуатация», когда данные о надежности однородных партий автомобилей собирались на крупных автопредприятиях, в силу разных обстоятельств отсутствует, сбор информации осуществляется в системе фирменного сервиса, причем как в гарантийный, так и в постгарантийный периоды эксплуатации. При этом, проблема надежности должна решаться на всех этапах жизненного цикла автомобиля: непосредственно на этапах проектирования (путем конструктивных решений и испытаний), при изготовлении (применением качественных материалов и контролем сборки), а также во время

эксплуатации, путем корректировки режимов и регламентов технического обслуживания и обратной связи с производителем для рекомендаций по совершенствованию конструкции. С учетом вышесказанного, отказы можно разделить на: эксплуатационные, конструкторские и технологические.

В различных отраслях, где исследуются большие системы, в том числе и в машиностроении, используется анализ дерева отказов, например, для выявления причин сбоя в системе, чтобы установить, впоследствии чего она может выйти из строя, выявить способ снижения рисков или определить частоту системного отказа.

FMEA (анализ видов и последствий отказов) и FTA (анализ дерева отказов) являются двумя часто используемыми методами анализа отказов [4]. Так, в статье [5] был выполнен анализ надежности систем торможения. Метод анализа дерева отказов используется для количественной оценки состояния отказа при полной потере функции основного тормоза. Сравнение методов HAZOP, FMEA, FRAM и STPA для анализа опасности систем автоматического аварийного торможения приведено в исследовании [6].

Анализ FMEA, основанный на накопленной статистике отказов, позволяет производителям систематически и эффективно фиксировать все потенциальные дефекты. В работе [7] авторы изучают типы дефектов, связанные с неисправной подушкой безопасности легкового автомобиля, используя FMEA. На основе анализа 345 отказов легковых автомобилей авторами создана схема с классификацией типов дефектов.

Дерево отказов представляет собой многоуровневую графологическую структуру причинных взаимосвязей, полученных в результате прослеживания опасных ситуаций, которая состоит из последовательностей и комбинаций нарушений и неисправностей, что дает возможность анализа причин возникновения отказов, и таким образом позволяет отыскать возможные причины их возникновения [8, 9].

Непрерывное совершенствование конструкции и технологии производства и сервиса изделий является одним из приоритетных направлений деятельности автопроизводителя, в том числе и производителей газобаллонных автобусов НЕФА3. Поддержание обратной связи системы фирменного сервиса с производителем автотехники позволит повысить как безопасность и надежность ее эксплуатации, так и эффективность системы фирменного сервиса.

**Анализ отказов.** Целью исследования было установление наиболее характерных отказов автобусов НЕФА3 с газовым двигателем КАМАЗ 820.91-260, выявление причин возникновения отказов и выработка предложений по их предупреждению.

Автобусы НЕФАЗ 5299 (НЕФАЗ 5299-11-56, НЕФАЗ 5299-30-56) в гарантийный период эксплуатации обслуживаются в АО «РариТЭК Холдинг». Нами было построено дерево целей предприятия (рис. 1). Анализ статистики отказов автобусов за 2021-2022гг. (наработка на отказ 25106÷41881 км) свидетельствует о том, что в гарантийный период практически половина неисправностей приходится на тормозную систему, и на силовой агрегат. Распределение дефектов автобусов НЕФАЗ по узлам показано на рис. 2.

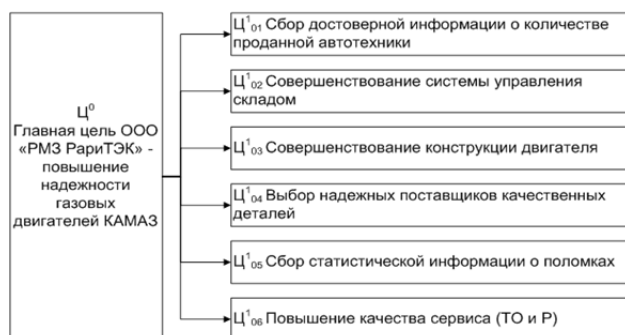


Рис. 1. Дерево целей АО «РариТЭК Холдинг»



Рис. 2. Дефектные узлы автобусов(НЕФАЗ 5299-30-56; НЕФАЗ 5299-11-56) с газовым двигателем КАМАЗ 820.91-260

Основные дефекты тормозной системы автобусов НЕФАЗ 5299-30-56; НЕФАЗ 5299-11-56 за рассматриваемый период вызваны ненадежностью покупных изделий, таких как:

- шланг соединительный;
- трубка полиамидная;
- компрессор.

Учитывая установленные проблемы, рекомендуется повысить качество работы с поставщиками. Детализированное представление цели «Выбор надежных поставщиков» приведено на рис.3.

Основные дефекты силового агрегата(газовый двигатель КАМАЗ 820.91-260) за рассматриваемый период приходятся на такие детали, как:

- шестерня ведомая;
- манжета;
- маслосъемное кольцо в сборе;
- цилиндр.



Рис. 3. Рекомендации по выбору надежных поставщиков

Дефекты, как правило, являются технологическими и вызваны несоблюдением:

- технологии производства или сборки;
- недостаточной производственной культурой;
- Моральным износом производственного оборудования;
- негибкостью технологических процессов.

Ввиду того, что значительное число выявляемых в гарантийный период дефектов являются технологическими, рекомендуется усилить контроль производственных процессов изготовления деталей, на которые приходится большая часть отказов.

**Выводы.** Совершенствование системы фирменного сервиса для автомобильной техники нового модельного ряда, в особенности на газомоторном топливе, направлено на решение проблемы повышения ее надежности, что в значительной степени является гарантией безопасной эксплуатации и осуществляется через обратную связь с автопроизводителем.

Прогнозирование времени возможного наступления отказа и своевременное выявление неисправностей связано с мониторингом состояния агрегатов, наиболее подверженных отказам, а также систем, обеспечивающих безопасность, дальнейшим анализом статистической информации об отказах и неисправностях, что позволяет оперативно реагировать на развивающийся дефект и предотвращать часть вероятных отказов.

Анализировать причины возникновения отказов позволяет представление описания дефекта узла или агрегата автомобиля в виде составного кода. Разработка мер по совершенствованию процессов на всех этапах жизненного цикла автомобильной техники способствует как повышению ее надежности, так и безопасности транспортной системы в целом.

### Л и т е р а т у р а

1. Пронин, Е.Н. Перспективы метана на транспорте [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

<http://www.gazpronin.ru/GazPronin2013.shtml>, свободный. (Дата обращения: 11.03.2022).

2. Макарова, И.В. Перспективы и риски перевода автомобильного транспорта на газомоторное топливо / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, Л.М. Габсалихова, И.И. Валиев. // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – №10, часть 6, С. 1209-1214.

3. Макарова, И.В. Применение низкоуглеродных видов транспорта: возможности и перспективы / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, Л.М. Габсалихова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 4.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13450> (Дата обращения: 11.03.2022).

4. J.F.W. Peeters. Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner / J.F.W. Peeters, R.J.I. Basten, T. Tinga. // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2018. – Vol. 172. – P. 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.11.024>

5. Ce Zhang. Reliability Analysis of Brake-by-wire Systems on Fault Tree. / Ce Zhang, Yu Han, Yier Lin, Dan Wang // *Journal of Physics: Conference Series*, 2021 2nd International Conference on Mechatronics Technology and Intelligent Manufacturing (ICMTIM 2021). – 2021. Vol. 2029.

6. Liangliang Sun. Comparison of the HAZOP, FMEA, FRAM, and STPA Methods for the Hazard Analysis of Automatic Emergency Brake Systems. / Liangliang Sun, Yan-Fu Li, Enrico Zio. // *ASME J. Risk Uncertainty Part B*. Sep 2022, 8(3): 031104 (14 pages) <https://doi.org/10.1115/1.4051940>

7. Chia-Fen Chi. Classification Scheme for Root Cause and Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) of Passenger Vehicle Recalls Davin Sigmund, Martin Octavianus Astardi. // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2020 – Vol. 200 (Cover date: August 2020) Article 106929. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106929>

8. Makarova, I.V. IT is Safety Ensuri Comparison of the HAZOP, FMEA, FRAM, and STPA Methods for the Hazard Analysis of Automatic Emergency Brake Systems Through Situational Management Methods. / I.V. Makarova, K.A. Shubenkova, E.M. Mukhametdinov, V.G. Mavrin, D. Antov, A. Pashkevich // *International Conference on Intelligent Transport Systems, INTSYS*. - 2017 - Vol. 222. – P. 133-1431.

9. Tsybunov, E.N. Interactive (Intelligent) Integrated System for the Road Vehicles' Diagnostics. / E.N. Tsybunov, K.A. Shubenkova, P.A. Buyvol, E.M. Mukhametdinov // *International Conference on Intelligent Transport Systems, INTSYS*. – 2017 – Vol. 222. – P. 195-2041.

**Makarova I.V., Mukhametdinov E.M., Gabsalikhova L.M., Mavlyautdinova G.R.**

#### RELIABILITY STUDY OF NEFAZ BUSES

*Public transport plays an important role in ensuring the sustainability and safety of the city's transport system. To achieve this goal, the most important task of ensuring the reliable and safe operation of buses is to maintain them in a technically sound condition. This is especially true for the bus fleet running on alternative fuels. The analysis of information on the operation of NEFAZ gas-balloon buses provided by*

*RariTEK Holding JSC, NaberezhnyeChelny, made it possible to identify their main defects and build the distribution laws for failures that occur during the warranty and post-warranty periods of operation, depending on the mileage. Timely detection of faults by continuous or periodic monitoring of the condition of critical units during operation allows you to quickly respond to the developing defect and prevent some of the probable failures.*

**Keywords:** reliability, bus, alternative types of fuel, environmental friendliness of transport, malfunction, failure, node, system, service.

**Макарова Ирина Викторовна**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем» ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.  
**E-mail:** kamIVM@mail.ru

**Makarova Irina Viktorovna**, Doctor (Tech.), Professor, Professor of the Department «Service of transport systems», Kazan Federal University, NaberezhnyeChelny.

**Мухаметдинов Эдуард Мухаматзакиевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.  
**E-mail:** funte@mail.ru

**Mukhametdinov Eduard Muhamatzakievich**, Ph.D. (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department «Service of transport systems», Kazan Federal University, NaberezhnyeChelny.

**Габсалихова Лариса Мухаматзакиевна**, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.  
**E-mail:** muhametdinoval@mail.ru

**Gabsalikhova Larisa Muhamatzakievna**, Ph.D. (Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Department «Service of transport systems», Kazan Federal University, NaberezhnyeChelny.  
**E-mail:** sadygova\_1988@mail.ru

**Мавляутдинова Гульназ Рашидовна**, старший преподаватель кафедры «Сервис транспортных систем», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.

**Mavlyautdinova Gulnaz Rashidovna**, Senior teacher of department «Service of transport systems», Kazan Federal University, NaberezhnyeChelny.

**Рецензент: Кулаков Александр Тихонович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта» ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны.

Статья подана 18.03.2022

УДК 378.147

## ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ МОТИВАЦИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Макарова И.В., Фатихова Л.Э., Буйвол П.А., Парсин Г.А

### PROBLEMS OF INCREASING MOTIVATION IN TRAINING ENGINEERS USING REMOTE TECHNOLOGIES

Makarova I.V., Fatikhova L.E., Buyvol P.A., Parsin G.A.

*Современное общество сталкивается с беспрецедентными вызовами, вызванными потребностями урбанизации и мобильности в связи с глобализацией всех сфер деятельности. Одна из этих проблем - пандемии, похожие на COVID-19, которые приводят к коллапсу во многих сферах деятельности и дисбалансу в экономических системах. В этом контексте важным вопросом является цифровизация университетской образовательной среды. В то же время во многих странах снизился интерес молодежи к получению инженерного образования. Целью данной статьи является исследование проблем и факторов формирования учебной мотивации студентов инженерных специальностей, а также условий успешного овладения компетенциями необходимыми для дальнейшей профессиональной деятельности в условиях цифрового обучения. В исследовании были выделены преимущества и недостатки дистанционных технологий в образовательном процессе, выявлены трудности, возникающие при совмещении традиционных и онлайн-форм обучения, а также факторы повышения учебной мотивации в условиях цифрового обучения. В статье рассмотрены способы повышения мотивации путем применения инновационных технологий и создания системы мониторинга результатов обучения, представлены результаты исследования восприятия применяемых дистанционных образовательных технологий студентами инженерных специальностей вуза, а также способы воздействия на рост учебной мотивации в процессе цифрового обучения.*

**Ключевые слова:** дистанционные технологии, цифровое обучение, учебная мотивация

**Введение.** В современном обществе молодежь должна быть готова к деятельности в условиях постоянно изменяющейся информационной среды. Виртуальная реальность вошла в нашу личную и профессиональную жизнь и становится эффективным средством межкультурного и профессионального общения. В этих условиях одной из важнейших компетенций современного специалиста становится умение использовать в своей профессиональной деятельности цифровые технологии, осуществлять эффективное межличностное общение, активно осваивать и перерабатывать огромные потоки информации и быть готовым к постоянному самообразованию. Все эти условия предъявляют определенные требования и к системе высшего образования.

Система инженерного образования в последние годы совершенствуется за счет использования новых возможностей электронного обучения с помощью специальных платформ, включая дистанционные образовательные технологии. В современных условиях от студентов инженерных специальностей требуются значительные усилия, как во время обучения, так и в последующей профессиональной деятельности, поскольку техника и технологии усложняются.

В данных условиях актуализировались и вопросы отношения самих студентов к новым форматам обучения. Стало понятно, что традиционная модель образования распадается, а ориентироваться только на дистанционные образовательные технологии тоже нельзя, необходим поиск новых технологий, инструментов и возможностей дальнейшего развития в системе инженерного образования.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Дистанционное обучение и связанные с ним технологии, ставшие неотъемлемой составляющей современного высшего образования, исследованы в работах [1, 2, 3]. Проблемы формирования учебной мотивации при применении дистанционного образования рассмотрены в статьях [4, 5, 6]. Технологии виртуальной и дополненной реальности, цифровые двойники, smart образование, позволяющие совершенствовать образовательную среду и повышать мотивацию студентов в цифровую эпоху, исследованы в работе [7]. Новые инструменты и методики, способствующие формированию положительной учебной мотивации, рассмотрены в работах [8, 9, 10, 11]. Данная статья является продолжением указанных исследований.

**Целью** данной работы является исследование проблем повышения мотивации студентов инженерного профиля, при применении дистанционных образовательных технологий.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- оценить, насколько подготовленными оказались обучаемые в техническом и

технологическом плане к новому формату проведения занятий;

- выявить, какие изменения произошли в повседневных практиках обучения студентов;

- определить преимущества и недостатки принятого в вузе формата дистанционного обучения;

- определить степень мотивации и удовлетворенности образовательным процессом при применении дистанционных технологий.

- выяснить дальнейшие перспективы развития дистанционных технологий в образовательном процессе.

**Изложение основных материалов.** В работе исследовано отношение студентов к технологиям дистанционного обучения на материалах Казанского Федерального Университета. В ходе проведенного исследования проведена оценка подготовленности студентов к цифровому обучению.

Нами использовалось онлайн анкетирование в формате Google Forms. Участниками опроса стали студенты бакалавриата и магистратуры инженерных специальностей Набережночелнинского института Казанского федерального университета. Исследование было пилотным и позволило выяснить отношение студентов к дистанционным технологиям цифрового обучения. После обработки ответы были сгруппированы и обобщены в соответствии с выдвинутыми исследовательскими вопросами. Всего в опросе приняло участие 344 студента очной формы обучения, в том числе бакалавров - 85,1%, магистрантов - 14,9%. Возрастная структура опрошенных различалась следующим образом: 20 лет и младше -25,6%, категория 20-25 лет была самой многочисленной и составила 70,3%, 26-30 лет - 1,7% и старше 30 лет - 2,3%.

С целью выяснения подготовленности студентов в техническом и технологическом плане к переходу на дистанционный формат обучения были заданы ряд вопросов. Среди наиболее значимых проблем технического характера, с которыми столкнулись респонденты были отмечены технические перебои в процессе воспроизведения материала (25%) и необходимость иметь устойчивый доступ к интернету (24,9%), далее выделялись низкая скорость интернета (19,8%), отсутствие обратной связи на платформе, отсутствие технических средств и другие причины.

Опрос также показал, что лишь 65% студентов были довольны качеством Интернет - связи при подключении к занятиям, остальные 35% отметили низкое ее качество. При этом мощностью личной аппаратной связи были довольны лишь 74,4% студентов. Наиболее часто используемыми устройствами при дистанционном обучении 49,4% студентов назвали ноутбук (компьютер), 49,1% - смартфон (планшет). Данные свидетельствуют, что не все студенты обеспечены стационарными

компьютерами и ноутбуками для обучения в дистанционном режиме.

Данные онлайн-опроса не позволяют получить полноценную оценку технической составляющей неравенства в доступе к обучению в условиях дистанционного формата. Однако различия в технических условиях обучения у студентов свидетельствует о наличии проблемы «цифрового неравенства» обучающихся, которая может быть связана как с материальным неравенством семей студентов, так и отсутствием доступа к широкополосному Интернету в местах их проживания в условиях дистанционного обучения.

Результаты опроса также показали, что дистанционное обучение привело к появлению у студентов целого ряда трудностей. Только 51% опрошенных студентов отметили, что они успешно адаптировались к дистанционному формату обучения. Помимо технических трудностей, возникающих в процессе дистанционного обучения, возникают и проблемы, связанные со спецификой самого дистанционного формата и отсутствием навыков, необходимых для успешного обучения.

Основные трудности при дистанционном формате обучения, названные студентами: невозможность проведения лабораторных занятий (56,1%); ограничения в получении практических навыков (49%); зависимость от технических средств (47,7%); необходимость проводить много времени за компьютером (45%); недостаток личного взаимодействия (40,5%); сложно учитывать индивидуальные особенности студентов (32,6%) и др.

Результаты анкетного опроса выявили трудности с самоконтролем и организацией самостоятельной работы, а также недостатком свободного времени для выполнения заданий и несвоевременную обратную связь от преподавателя (рис. 1).

Анкетный опрос также показал, что у студентов возникали проблемы с поиском и использованием учебно-методических материалов, что свидетельствует о необходимости решения вопросов об эффективности использования дистанционных технологий в преподавании дисциплин, включающих приобретение практических навыков. Наиболее популярными методами освоения образовательных материалов были отмечены методические указания ВУЗа (62,8%), методические указания в Интернете (56,4%) и видеоматериалы, предоставленные ВУЗом (40,4%) (рис. 2).

При этом найти перечисленные образовательные ресурсы и методы их освоения помогали преподаватели - 33% студентов, поделились опытом коллеги-студенты - 32 %, осваивали на интуитивном уровне - 32,2% и «не удалось освоить» ответили 2,8% студентов.



Рис.1. Трудности при самостоятельной работе студентов

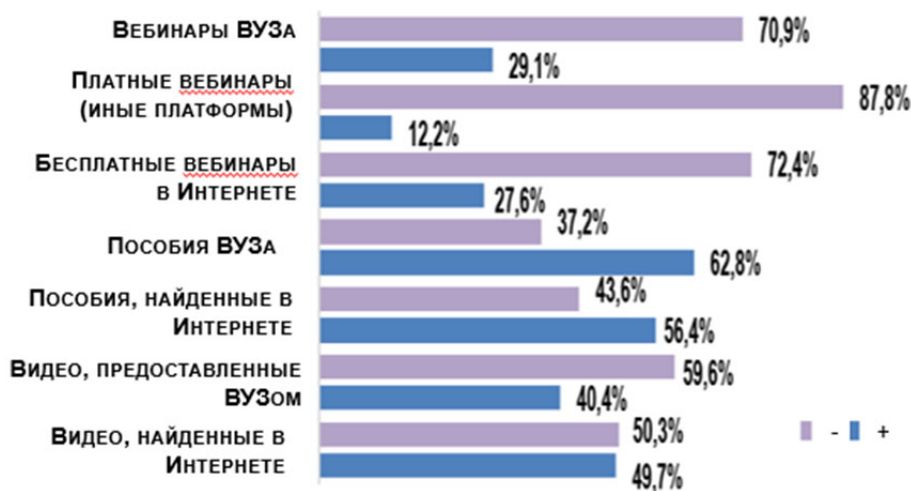


Рис.2. Методы освоения образовательных материалов

Основными методами для взаимодействия с преподавателями при дистанционном формате обучения студенты отмечают применение Microsoft Teams (56,7%), «Виртуальная аудитория» (26,2%), Zoom, Skype (13,4%) и сторонние платформы (3,7%).

В качестве достоинств, принятого в вузе формата дистанционного обучения студенты выделили: возможность совмещения учебы с работой; повышение навыков самостоятельной работы; доступность материалов и возможность пользоваться ими в удобное время и привычной обстановке. Недостатками отмечены: необходимость проводить много времени за компьютером и увеличение времени, затрачиваемого на освоение дисциплин; отсутствие личного общения, как с преподавателями, так и с коллегами-студентами; ограничения в получении практических навыков и невозможность проведения лабораторных занятий; зависимость от технических средств и снижение качества обучения.

**Результаты исследований.** Сохранение мотивационной активности является наиболее сложной составляющей дистанционных технологий при применении дистанционных технологий. От уровня вовлеченности в учебный процесс напрямую зависит успешность образовательного процесса.

Поэтому в исследование мы хотели выяснить степень влияния дистанционных технологий на учебную мотивацию студентов.

В ходе проведения исследования, отвечая на вопрос «Какие, на ваш взгляд, задачи решают дистанционные образовательные технологии?», респонденты отметили: возможность заниматься образованием в удобное время и в удобном месте – 22,6%; формирует навыки работы с большими объемами информации и самостоятельности в поиске необходимой информации – 22,1%; повышает мотивацию – 16,9%; повышает мой уровень прикладных навыков – 14,8%; возможность расширить круг общения – 11,1%. Отрицательное отношение к дистанционным технологиям выразили 8% опрошенных и затруднились ответить 4,5%.

Видение студентов использования дистанционных технологий в образовательном процессе ВУЗа (рис. 3).

Студенты в целом положительно относятся к дистанционным технологиям в образовательном процессе, но при этом наиболее приемлемыми видами занятий в данном формате считают проведение лекций, размещение учебных материалов, выдача и проверка самостоятельных заданий, проведение конференций и семинаров, в качестве дополнительного обучения и др.



Рис. 3. Мнения студентов относительно частоты применения дистанционных технологий в образовательном процессе.

Далее в исследовании, нами был предложен набор утверждений, связанных с мотивацией и удовлетворенностью студентов образовательным процессом при дистанционном формате. Студенты оценивали степень согласия с тем или иным утверждением по пятибалльной шкале: «1» – совершенно не согласен, «5» – полностью согласен.

Большинство студентов согласны с утверждением, что современное образование должно сочетать дистанционные технологии и традиционные образовательные практики (68,9%), и навыки, полученные при дистанционном формате обучения, пригодятся им в дальнейшей профессиональной деятельности (57,8%). В целом 65,7 % студентов, принявших участие в исследовании, подтвердили свое положительное отношение к дистанционному обучению: почти 58% отметили положительные изменения в их способности учиться самостоятельно, 52,9% заявили о повышении качества обучения, почти 50% отметили появление свободного времени и повышение учебной мотивации. В тоже время качество лекций и взаимодействие студентов с преподавателем не выявило проблем у студентов.

**Выводы.** В ходе изучения мнения студентов было выявлено, что применение дистанционных технологий является необходимостью современного процесса обучения и будет дальше активно применяться в системе высшего образования, обладая рядом преимуществ. В то же время, существующие в настоящее время цифровые средства обучения не являются достаточными для стимулирования учебной мотивации, особенно студентов с низким уровнем учебной самостоятельности. Модель требует высокого уровня самоконтроля и ответственного отношения самого студента. Кроме того, дистанционные формы обучения не в состоянии полностью заменить

занятия в очной форме. Формирование профессиональных компетенций в инженерном образовании требует социального взаимодействия между субъектами образовательного процесса, между студентом и преподавателем, погружения обучающегося в реальный профессиональный контекст. Результаты опроса выявили низкую степень удовлетворенности студентов качеством проведения лабораторных занятий в рамках дистанционного формата обучения с использованием существующих инструментов. Необходим поиск баланса между традиционными аудиторными занятиями и онлайн-обучением, разработка новых технологий и методов, которые позволят сохранить полноценное общение между участниками образовательного процесса, повысить мотивацию и эффективность цифрового обучения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Makarova I. V. Digitalization of engineering education: from e-learning to smart education / Makarova I. [et al.] // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2019. - № 47, pp. 32–41.
2. Rodriguez-Paz M. X. Use of an offline video repository as a tool to improve students' performance in engineering courses versus real-time long-distance courses / Rodriguez-Paz M. [et al.] // IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Dubai, United Arab Emirates. – 2019. – pp. 544–551.
3. Martínez P. J. Transitioning from face-to-face to blended and full online learning engineering master's program / Martínez P. Aguilar F. and Ortiz M. // IEEE Transactions on Education. – 2020. – vol. 63, no. 1, pp. 2–9.
4. Makarova I. V. Improving the quality of engineering education by developing the system of increasing students' motivation / Makarova, I. [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018. – 716, pp. 150–161.
5. Takemoto I. Autonomous learning applying for expectancy motivation theory on English education / Takemoto I., [et al.] // IEEE 9th International Conference on

Engineering Education (ICEED), Kanazawa. – 2017. – pp. 86-89, 2017.

6. Finelli C. J. Factors that influence faculty motivation of effective teaching practices in engineering / Finelli C., Richardson K., Daly S. // ASEE Annual Conference & Exposition, Atlanta, Georgia. – 2013. – <https://peer.asce.org/19604>.

7. Makarova I. Usage of Microscopic Simulation to Estimate the Environmental Impact of Road Transport / Makarova I., [et al.] // Transportation Research Procedia. – 2020. – 44, 86-93.

8. Castro M. Workshop: Teaching practices with VISIR remote lab: technical, educational and research fundamentals from the PILAR Project / Castro M [et al.] // IEEE World Conference on Engineering Education (EDUNINE), Lima, Perup. – 2019. – pp.1-3.

9. Tobarra L. et al. Students' Acceptance and Tracking of a New Container-Based Virtual Laboratory / Tobarra L. [et al.] // Appl. Sci. – 2020. - 10 (3), 1091.

10. Solmaz S., Jessica L., Alfaro D., Santos P., Puyvelde P. V., Gerven T. V. A practical development of engineering simulation-assisted educational AR environments / Solmaz S. [et al.] // Education for Chemical Engineers. – 2021. - Vol 35, - pp. 81-93.

11. Makarova I., Shubenkova K., Tikhonov D., Pashkevich A. An integrated platform for blended learning in engineering education / Makarova I., [et al.] // CSEDU 2017 - Proceedings of the 9th International Conference on Computer Supported Education. – 2017. - 2, pp. 171–176 (2017).

**Makarova I.V., Fatikhova L.E., Buyvol P.A., Parsin G.A.**

# **PROBLEMS OF INCREASING MOTIVATION IN TRAINING ENGINEERS USING REMOTE TECHNOLOGIES**

*In today's globalization world, society is facing unprecedented challenges posed by the needs of urbanization and mobility. Such challenges become even more acute when exacerbated by strong exogenous shocks, such as the COVID-19 pandemic, as they collapse everyday life activities and lead to further imbalances in socio-economic systems. Resilience of such systems and their readiness to mitigate the risks is heavily reliant on their preparedness and willingness to switch to alternative functioning modes. That is of special importance for education sector. This article aims at identifying the driving forces of successful transition to remote learning while keeping the academic motivation of engineering students. The research explores pros and cons of distant learning technologies and highlights the key challenges for its future incorporation in the engineering education sector.*

**Keywords:** *remote technologies, digital learning, academic motivation*

**Макарова Ирина Викторовна**, д-р техн. наук, зав. кафедрой «Сервис транспортных систем», Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».  
**E-mail:** kamIVM@mail.ru

**Makarova Irina Viktorovna**, doctor of sciences (Eng) chair of the Transport Systems Service Department, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University.

**Фатихова Лариса Энгельсовна**, канд.экон.наук, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».  
**E-mail:** Laren-311@mail.ru

**Fatikhova Larisa Engelsovna**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Transport Systems Service Department, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University.

**Буйвол Полина Александровна**, канд.техн.наук, доцент кафедры «Сервис транспортных систем», Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

**Buvvol Polina Aleksandrovna**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Transport Systems Service Department, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University.  
**E-mail:** Skyeyes@mail.ru

**Парсин Глеб Артурович**, ассистент кафедры «Сервис транспортных систем», Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

**Parsin Gleb Arturovic**, assistance of the Transport Systems Service Department, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University.

**Рецензент: Кулаков Александр Тихонович**, д.т.н., проф., зав. кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережной Челны.

*Статья подана 22.03.2022*

УДК 519:614.849

## РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Малкин В.Ю., Михайлов Д.В., Киричевский Р.В.

## CALCULATION OF THE ELECTRICAL NETWORK RELIABILITY

Malkin V.Y., Mikhaylov D.V., Kirichevskiy R.V.

*Интенсивность движения транспортного потока на дорогах Луганской Народной Республики существенно менялась за прошедшие шесть лет. Цель работы – расчет и анализ интенсивности движения транспортного потока по одной из улиц города Ровеньки Луганской области. Результат показал, что существующая в настоящее время интенсивность транспортного потока является перспективной. Возможна оптимизация работы уже существующих систем организации дорожного движения путем соответствующей регулировки циклов работы светофоров, дистанции между «лежащими полицейскими», а также максимально разрешенной скорости движения.*

**Ключевые слова:** безопасность дорожного движения, транспортный поток, интенсивность, организация движения.

**Введение.** Техническая классификация автомобильных дорог и разделение их по категориям производится по величине интенсивности движения транспортных средств. Интенсивность движения транспортного потока на дорогах ЛНР существенно менялась за прошедшие шесть лет. Кроме того, мониторинг интенсивности движения в течение нескольких лет позволяет прояснить следующие важные моменты: 1) выявить темпы изменения интенсивности и выработать прогнозы роста на будущее, что является основой для проектирования схемы развития всей сети дорог региона (в этой схеме указывают, какие дороги подлежат реконструкции); 2) произвести расчет и обоснование выбора конструкций дорожных покрытий; 3) сделать выбор средств регулирования и повысить безопасность дорожного движения; 4) интенсивность дорожного движения, полученная де-факто, учитывается при планировании дорожных ремонтных работ.

**Цель данной работы** – расчет и анализ интенсивности движения транспортного потока по улице К. Маркса города Ровеньки Луганской области.

Имеющиеся модели и методы расчета интенсивности движения [1-10] транспортного потока имеют недостатки и ограничения: невозможность применения прямой экстраполяции и балансового методов ввиду нестабильной ситуации в ЛНР; необходимость учета большого количества факторов при применении

имитационных и нейро-нечетких моделей; построения больших баз знаний и необходимости в дополнительном времени обучения для нейро-нечетких моделей; использование численных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных при применении методов, основанных на динамике движения; а также наличия навыков программирования и использования специального программного обеспечения для их реализации. Макроскопическая модель имеет ограничение: применяется лишь для описания стационарного транспортного потока. В вероятностных моделях не существует единого мнения по поводу применяемого закона распределения интенсивности в течение суток, дней недели и месяцев года. Вообще не существует идеальной модели, позволяющей решить все проблемы, связанные с транспортными потоками.

**Основной материал.** Поскольку специальные технические средства, у автора работы отсутствовали, выбран визуальный кратковременный метод учета интенсивности движения. Предварительно, для получения состава потока перспективной интенсивности, на нижеуказанном участке дороги в течение трех периодов (по 15 мин. утром, в обед, вечером в понедельник 20-23.08.2018) было подсчитано количество транспортных средств различных категорий, пересекающих нижеуказанное сечение. При этом использовалась форма учета интенсивности движения, взятая из [9].

Транспорт движется по двум полосам.

Состав потока для перспективной интенсивности дорог местного назначения согласно [3]: грузовые автомобили, 60%, легковые автомобили, 36%, автобусы, 4%. Рассмотренный участок дороги является одной из центральных дорог города Ровеньки, поэтому процентное отношение легковых автомобилей гораздо больше в сравнении с другими транспортными средствами. Дорога имеет перспективную интенсивность и относится к 4-й категории, т.к. автобусы составляют 3-4% от общего числа учтенных транспортных средств, грузовые автомобили, 8-13%, легковые автомобили, 83-89% и движение в каждую сторону двух полосное.

Таблица 1

| Сбор данных                   |                                  |     |       |                                    |    |       |                                    |     |       |
|-------------------------------|----------------------------------|-----|-------|------------------------------------|----|-------|------------------------------------|-----|-------|
| Категория<br>трансп. средства | 7 <sup>00</sup> -8 <sup>00</sup> |     | итого | 12 <sup>00</sup> -13 <sup>00</sup> |    | итого | 17 <sup>00</sup> -18 <sup>00</sup> |     | итого |
|                               | ←                                | →   |       | ←                                  | →  |       | ←                                  | →   |       |
| B                             | 103                              | 144 | 247   | 90                                 | 94 | 184   | 141                                | 120 | 261   |
| C                             | 12                               | 14  | 26    | 14                                 | 15 | 29    | 13                                 | 10  | 23    |
| D                             | 4                                | 4   | 8     | 4                                  | 4  | 8     | 4                                  | 4   | 8     |

Результаты учета сведены в табл. 1 и проиллюстрированы диаграммой на рис. 1.

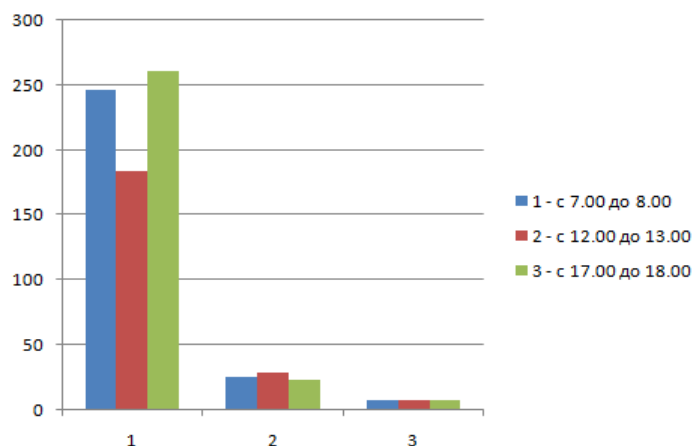


Рис. 1. Диаграмма интенсивности движения транспортных средств: 1 – транспортных средств категории Б, 2 – С, 3 – Д.

Обследованный поток имеет интенсивность движения не более 145 авт/час и относится к свободному потоку уровня удобства А. Средний временной интервал  $t = 26,9$  с. Экспериментальное распределение интервалов  $t$  удовлетворяет закону Пуассона. Законом Пуассона можно выразить распределение интервалов между автомобилями для потока интенсивностью 180 авт/ч, являющегося суммой двух потоков. Поэтому существующая в настоящее время интенсивность транспортного потока является перспективной.

Кроме того, по экспериментальным данным получили, что каждое значение экспериментального ряда отличается от среднего значения 26, в среднем на 5,779. Поскольку коэффициент вариации меньше 30%, то совокупность однородна. Полученным результатам можно доверять. Значения коэффициентов асимметрии  $As = 0,809$  и эксцесса  $Ex = 8,9$  указывают на несущественную асимметрию и островершинность.

На рис. 2 представлены экспериментальные данные, полученные в вечернее время.

Для описания связанных потоков применяют закон распределения Пирсона III типа. По закону Пирсона вероятность  $p$  появления интервалов  $t$ , с между автомобилями описывается выражением:

$$p(t) = a^k \cdot e^{-at} t^{k-1} / \Gamma(k)$$

где  $k$ ,  $a$  – коэффициенты;  $\Gamma(k)$  – гамма функция. Дисперсия  $\sigma$  и средний интервал  $t_{cp}$  выражаются через коэффициенты функции  $p(t)$  следующими

формулами:  $t_{cp} = k / a$ ,  $\sigma = k / a^2$

Кроме того, некоторые авторы [6] показывают, что законом Пуассона можно выразить распределение интервалов между автомобилями для потока интенсивностью 180 авт/ч, являющегося суммой двух потоков. Согласно табл. 1 количество транспорта в час не превышает 144 единицы. Поэтому для построения распределения по двум полосам также можно применить закон Пуассона.

На автодорогах больших городов, автомагистралях количество полос движения транспорта существенно влияет на пропускную способность дорог, плотность и интенсивность движения. Часто транспорт идет на обгон и опережение. Существуют графики, выражающие усредненные зависимости пространственных интервалов  $l_n$ , м начала обгона от скорости  $v$ . Однако, на рассматриваемом участке дороги интенсивность движения по крайней правой полосе рана  $\lambda = \frac{3600}{26,9} \approx 133$  авт/час в час пик, а при

учете движения по двум полосам  $\lambda = 144$  авт/час. В то время как по результатам научных исследований [8] максимальная пропускная способность автомобильной дороги (не автомагистрали), имеющей четыре полосы движения и более, составляет: 1250 авт/час для крайней правой полосы, 1800 авт/час для крайней левой полосы, 1600 авт/час для средних полос (на одной полосе).

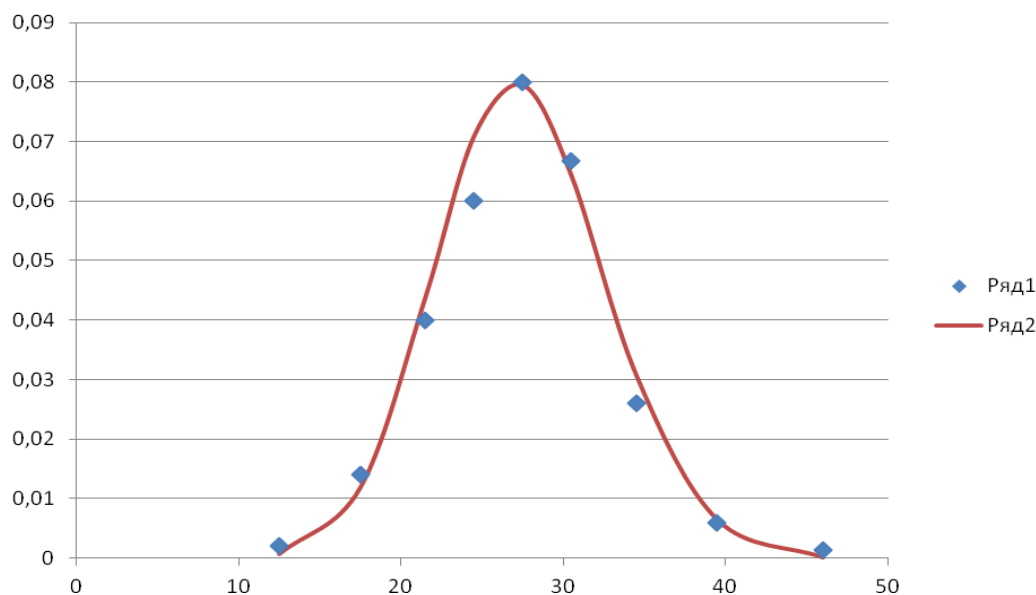


Рис. 2. Экспериментальное (◊) и расчетное (—) распределение интервалов с 17.00 до 18.00

Плотность движения в одну разрешенную сторону движения по двум полосам по ул. К. Маркса г. Ровеньки составляет  $\rho = \frac{\lambda}{v} = \frac{144}{60} = 2,4$  авт/км.

Очевидно, что исследованный транспортный поток на указанном участке может быть существенно увеличен без реконструкции автодороги в сторону увеличения количества полос. В настоящее время этот участок автодороги имеет категорию удобства А, поскольку обгоны практически отсутствуют, автомобили не взаимодействуют между собой, а водителем может выдерживаться желаемая скорость движения. Однако выбранная вероятностная модель является микро-моделью и не учитывает полной картины: качества дорожного покрытия, метеорологических условий, скорость реакции водителя и др.

**Результаты исследований.** Произведен учет интенсивности движения транспортного потока по улице К. Маркса в городе Ровеньки Луганской области, сделаны расчет и анализ интенсивности движения транспортного потока по указанной автомобильной дороге. Анализ полученных результатов показал, что существующая в настоящее время интенсивность транспортного потока является перспективной.

**Выводы.** На основе исследованной вероятностной модели возможна оптимизация работы уже существующих систем организации дорожного движения путем соответствующей регулировки циклов работы светофоров, дистанции между «лежачими полицейскими», а также максимально разрешенной скорости движения. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы в работе таких организаций как: городское коммунальное предприятие «Эксплуатационно-линейное управление

автодорог», ГУП ЛНР «Луганский автодор», ГИБДД.

#### Л и т е р а т у р а

1. Буслаев А.П. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения; под ред. чл.-корр. РАН В.М. Приходько. / А.П. Буслаев [и др.] – М.: Мир, 2003. – 368 с.
2. Галкина Г.А. Метод прогнозирования состояния транспортного потока при управлении на сети / Г.А. Галкина // Инженерный вестник Дона, 2012, – С. 24-28.
3. Горев А.Э. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов – 4-е изд., перераб. / А.Э. Горев, Е.М. Олещенко – М.: Академия, 2012. – 256 с.
4. Горелов А.М. Динамическое ограничение скорости движения транспортных средств на автомагистралях / А.М. Горелов А.А. Власов М.А. Гаврина // Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования». 2015. – № 1 (Ч.1): сайт. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18048>. – Загл. с экрана.
5. Ерёмин В.М. Концептуальная модель функционирования системы ВАДС как основа компьютерной имитации / В.М. Ерёмин // САПР и ГИС автомобильных дорог, 2014. – С. 89-93.
6. Краснов Е.С. Достоверность информации об интенсивности движения и надежность решения инженерных задач / Е.С. Краснов, С.С. Семенов, Н.Ю. Михайлов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. – № 3. – С. 72–84.
7. Кульбашная Н.И. Разработка модели выбора скорости движения водителем с учетом дорожной обстановки / Н.И. Кульбашная К.А. Сорока // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2016. – 3/2 (81). – С. 22-28.
8. Малюков В.А. Влияние погодных условий на безопасность перевозки опасных грузов автомобильным транспортом / Малюков В.А. [и др.] // Актуальные вопросы в науке и практике. Сборник статей по материалам VIII МНПК. Самара, 15 мая 2018, – С. 119-125.

9. Трофименко Ю.В. Транспортное планирование : формирование эффективных транспортных систем крупных городов. / Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов. – Москва: Логос, 2013. – 464 с.

10. Черунов П.В. Применение автоматизированных средств оценки параметров безопасности на транспорте / П.В. Черунов П.Н. Малюгин // Достижения вузовской науки. Сборник статей IV Межд. научно-исслед. конкурса. Пенза, 05.09.2018. – С. 31-36.

**Malkin V.Y., Mikhaylov D.V., Kirichevskiy R.V.**  
**CALCULATION OF THE ELECTRICAL NETWORK RELIABILITY**

*The traffic intensity on the roads of the LPR has changed significantly over the past six years. The purpose of this paper is to calculate and analyze the intensity of traffic flow along one of the streets of the Rovenky city, Lugansk region. The result shows that the current traffic intensity is promising. It is possible to optimize the operation of already existing traffic management systems by appropriately adjusting the traffic light cycles, the distance between the speed bumps, and the maximum permitted speed.*

**Keywords:** road safety, traffic flow, intensity, organization of movement.

**Малкин Владимир Юрьевич**, к.ю.н., доцент, директор Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** igz.lnu@mail.ru

**Malkin Vladimir Yurievich**, Candidate of Science in Law, Associate Professor, Director of the Institute of Civil Protection, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Михайлов Дмитрий Викторович**, к.т.н., доцент, заместитель директора Института гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** igz.lnu@mail.ru

**Mikhaylov Dmitriy Victorovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director of the Institute of Civil Protection, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Киричевский Ростислав Викторович**, доцент, к.т.н., доцент кафедры пожарной безопасности ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**E-mail:** rost71@mail.ru

**Kirichevskiy Rostislav Viktorovich**, Associate Professor, Ph.D. candidate of technical sciences, Assoc. Department of Fire Safety, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Губачева Лариса Александровна**, д-р техн. наук, профессор, Институт гражданской защиты ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 31.03.2022*

УДК 629.33: 519.876.5

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АВТОСБОРОЧНОЙ ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Чернов А.О., Буйвол П.А., Макарова И.В.

## IMPROVING THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THE VEHICLE ASSEMBLY LINE WITH THE USE OF DIGITAL TWINS

Chernov A.O., Buyvol P.A., Makarova I.V.

*В статье описаны суть и основные преимущества имитационного моделирования и цифровых двойников производственных процессов. Приведен пример работы с цифровым двойником сборочной линии автомобильного производства, в частности обозначены основные показатели, позволяющие определить снижение производительности конвейерной линии.*

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, имитационная модель, Индустрия 4.0, сборочная линия, цифровой двойник.

**Введение.** В настоящее время промышленно развитые страны следуют по пути Четвёртой промышленной революции (англ. The Fourth Industrial Revolution), сопровождающейся массовым внедрением киберфизических систем в производство (Индустрия 4.0) и обслуживание человеческих потребностей, включая быт, труд и досуг [1]. Ключевыми технологиями данной концепции называют Большие данные, интернет вещей, виртуальную и дополненную реальность, 3D-печать, печатную электронику, квантовые вычисления, блокчейн. Преимуществами Четвертой промышленной революции являются повышение производительности, большая безопасность работников за счет сокращения рабочих мест в опасных условиях труда, повышение конкурентоспособности, принципиально новые продукты и т.д. [2]. Согласно докладу, представленному на Всемирном экономическом форуме 2019 года, помимо автономных роботов в сфере логистики, производства, дронов и сенсоров, задействованных в точном земледелии, получают распространение цифровые двойники в бизнесе, открывающие новые возможности для оптимизации процессов и систем.

**Содержание и назначение цифровых двойников.** Цифровой двойник в автомобильной промышленности — это точная виртуальная модель автомобиля или производственного предприятия. Он отображает разработку реального физического объекта на протяжении всего жизненного цикла и позволяет операторам прогнозировать поведение, оптимизировать производительность и реализовывать идеи из предыдущего опыта проектирования и производства [3].

Являясь разновидностью имитационной модели, цифровые двойники облегчают задачу управления производством. Имитационное моделирование на цифровых вычислительных машинах является одним из наиболее эффективных и мощных средств для исследования производственных систем. Это метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Имитационная модель — математическая модель, с высокой точностью описывающая реальную систему. Она дает возможность проводить множество экспериментов, вычислять и планировать необходимые объемы ресурсов для производства продукта, минимизируя потери. Такую модель можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов. По этим данным можно получить достаточно устойчивую статистику. Благодаря имитационной модели исключаются многие риски, обусловленные особенностями технологического процесса, когда проводить реальные эксперименты не безопасно или дорого.

Методика имитации включает постановку задачи, подготовку данных, построение модели, оценку адекватности [4]. Целью имитационного моделирования в производстве является имитация реальных процессов, выявление узких мест и повышение эффективности производства за счёт оптимального использования персонала, производственных мощностей, ресурсов. Имитационное моделирование производственных процессов позволит на основе данных, полученных посредством симуляции технологического процесса, сбалансировать рабочие центры и спрогнозировать количество выпускаемой продукции [5].

В свете перехода к концепции Индустрии 4.0 предприятия становятся все более ориентированы на индивидуальные предпочтения заказчиков. В этом смысле цифровые двойники позволяют производить тонкую настройку и планирование производственного процесса посредством расчета на модели необходимого количества оборудования, трудовых ресурсов и деталей для сборки под конкретно заданные входные параметры. Становится возможным

в условиях массового производства запланировать единичные и мелко-партийные заказы.

В условиях ускоряющейся цифровизации Россия уступает по степени развития и уровню распространению технологий некоторым западным и азиатским странам, однако и у нас работы в данном направлении ведутся самым активным образом. Уже сейчас многие промышленные компании оптимизируют свои бизнес-модели и производства посредством цифровой трансформации. Актуальным является дальнейшая разработка и внедрение новых производственных методов и цифровых решений, которые будут способствовать росту эффективности производства.

**Цифровой двойник сборочной линии автомобильного производства.** Продемонстрируем на примере, как имитационное моделирование в ПО «Tescnomatix Plant Simulation» может быть эффективно использовано для оптимизации технологии производственных процессов главного сборочного конвейера.

Plant Simulation – программная среда имитационного моделирования систем и процессов. Решение предназначено для оптимизации материалопотоков, загрузки ресурсов, логистики и метода управления для всех уровней планирования от целого производства и сети производств до отдельных линий и участков. Plant Simulation входит в состав продуктовой линейки Tescnomatix компании Siemens PLM Software [6] и позволяет провести моделирование производственного процесса и симулировать реальный процесс, выявить узкие места и повысить эффективность производства за счёт оптимального использования персонала, производственных мощностей, ресурсов.

Для проведения имитационного моделирования технологического процесса помимо сведений о содержании и специфике самого технологического процесса необходима информация из производственного календаря. В ходе моделирования анализируемый технологический процесс заменяется цифровой моделью (имитацией) для определения характеристик технологического процесса и его оптимизации.

Специализированные объекты в имитационной модели автоматически осуществляют сбор статистических данных: время работы, загруженность персонала, сбои, поломки и позволяют найти наиболее и наименее загруженные участки. Такие параметры, как время работы, время регламентированных перерывов и сбоев производства, размеры партий продукции, такт производства можно менять с помощью диалогового интерфейса.

Загружаемый технологический процесс должен включать в себя: позицию, операцию, рабочее место, сторону работы, последовательность выполнения, комплектующие, время операции. Загрузить процесс в модель можно импортируя Excel-файл техпроцесса, либо же, в самой модели напрямую подключиться к базе, где и находится технологический процесс. После

загрузки техпроцесса, необходимо указать горизонты моделирования.

**Установка исходных параметров моделирования.** Рассмотрим сборку одной комплектации автомобиля. Количество закладываемых рам на смену при такте сборочного конвейера 4 минуты будет равным 115 единиц на смену.

Количество закладываемых рам  $N$ , шт. можно определить по следующей формуле:

$$N = \frac{T_{см} - T_{пер}}{t}, \quad (1)$$

где  $T_{см}$  – продолжительность одной смены (без учета обеда), мин;

$T_{пер}$  – продолжительность всех регламентированных перерывов, мин;

$t$  – такт производства, мин.

Далее по формуле (1) рассчитываем количество закладываемых рам  $N = (480 - 10 - 10) / 4 = 115$  шт.

Количество автомобилей за смену, будем закладывать в график закладки.

ПО Plant Simulation предоставляет удобные средства для моделирования процесса, однако для повышения эффективности работы с входными и выходными данными модели необходима разработка дополнительных средств, потому была разработана форма «Интерфейс». В этом окне можно загрузить техпроцесс, заполнить данные зон поставок, управлять параметрами конвейера и модели, а также работать с выходными данными имитационной модели, (рис. 1).

Для открытия графика закладки необходимо выполнить следующие действия: в окне «Интерфейс» на вкладке «Входные данные» нажать на кнопку «График закладки». В результате выполненных действий откроется график закладки как показано на рис. 3, где необходимо указать:

– в столбце 1 – объект рамы,

– в столбце 2 – количество комплектующих закладываемых изделий на смену,

– в столбце 3 – название модели автомобиля.

После всех проделанных операций модель можно запустить.

**Анализ показателей выполнения технологического процесса.** После того, как выполнится имитационная модель, будут доступны выходные отчеты в окне «Интерфейс» на вкладке «Результаты».

На основе графика закладки был проведен анализ закладки рам автомобилей на смену, что позволило спрогнозировать максимальное количество собранных рам на конвейере за одну рабочую смену (рис. 2). В графике закладки рам, отображается количество рам, закладываемых на конвейер в течении рабочей смены с учетом регламентированных перерывов (обед, перерывы). Ключевым показателем графика закладки рам, является итоговое количество заложенных рам на конец рабочей смены. Результат считает

положительным при выполнении плана производства за смену. При неудовлетворительном результате технологический процесс отправляется на доработку разработчику техпроцесса по

электронной почте с указанием выявленных несоответствий. Как мы видим, из рис. 2, удалось заложить 110 рам из 115, что свидетельствует о выполнении плана на 95,65%.

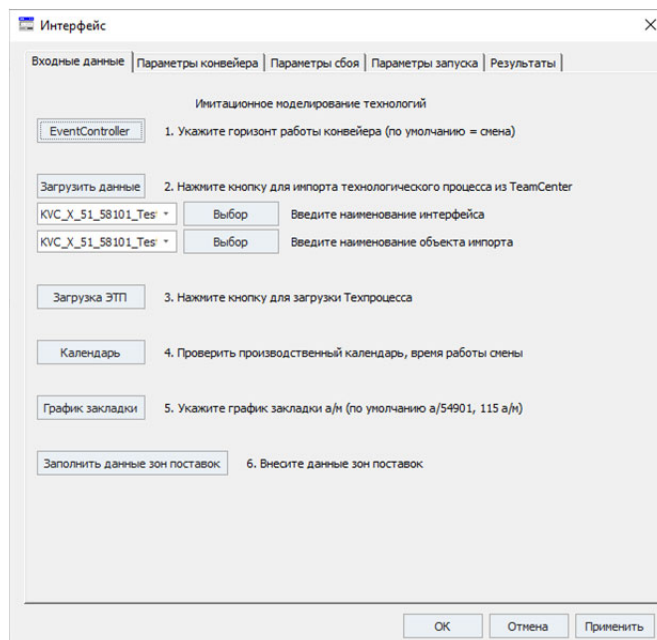


Рис. 1. Окно «Интерфейс»

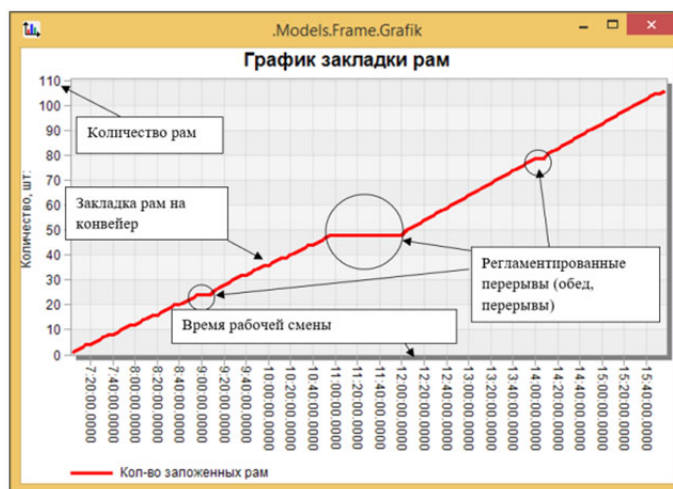


Рис. 2. График закладки рам

График среднего времени выхода готовой продукции представляет собой линейный график, который отображает фактический и целевой такт конвейера. (рис. 3). На вертикальной шкале графика отображается интервал времени такта конвейера. На горизонтальной шкале графика отображается интервал времени рабочей смены. По умолчанию на графике указан интервал времени – каждые 4 минуты, горизонт моделирования – 1 смена. По графику среднего времени выхода готовой продукции анализируется целевое и фактическое время выхода готовой продукции. Факторами, влияющими на фактический такт конвейера, являются сбой работы конвейера,

человеческий фактор, срыв поставки комплектующих. Фактическое время выхода готовой продукции напрямую влияет на план выпуска автомобилей в смену. Положительным результатом является ситуация, когда фактический такт конвейера не превышает целевой такт конвейера. Отрицательным результатом является ситуация, когда фактический такт конвейера превышает целевой. Превышения данного показателя указывает на снижение производительности.

Динамический график Ямазуми отображает загруженность персонала в процентном соотношении за общий период времени для каждой позиции

конвейера отдельно (рис. 4). Оценка эффективности загрузки персонала проводится в соответствии с табл. 1.

Как видно из рис. 4, процент загрузки персонала крайне мал из-за

большого числа сбоев и длительного времени ожидания персонала. Из этого можно сделать вывод, что технологический процесс некорректно написан, и его необходимо отправить на доработку инженеру-технологу.

Таблица 1

Загруженность рабочих мест

| Диапазон загрузки в процентах | Описание                     | Рекомендации                                                                                               |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| От 0 % до 30 %                | Персонал не загружен         | Распределить операции незагруженного персонала. Сократить рабочее место.                                   |
| От 30 % до 65 %               | Персонал загружен средне     | Сбалансировать технологические операции между персоналом, загрузить дополнительными операциями.            |
| От 65 % до 85 %               | Персонал загружен оптимально | Действия не требуются.                                                                                     |
| От 85 % до 100 %              | Персонал перегружен          | Разгрузить, сбалансировать технологические операции между персоналом для исключения простоев производства. |

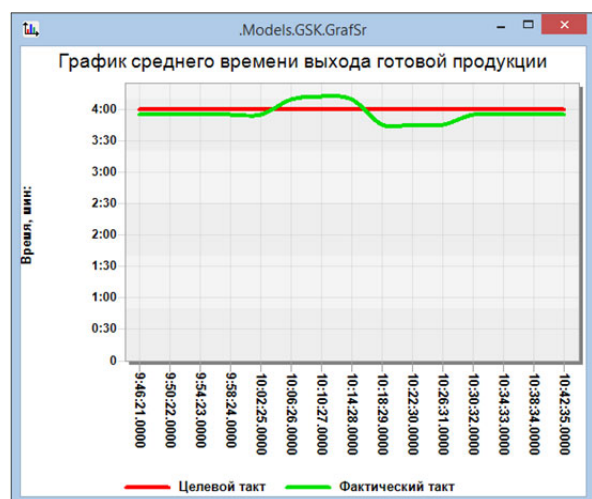


Рис. 3. График среднего времени выхода готовой продукции

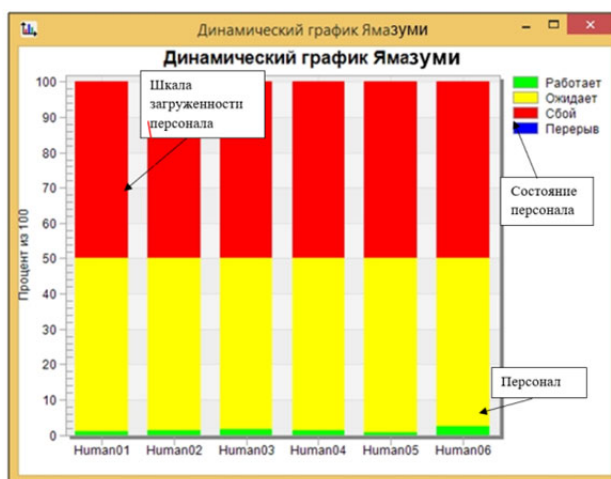


Рис. 4. Динамический график Ямазumi

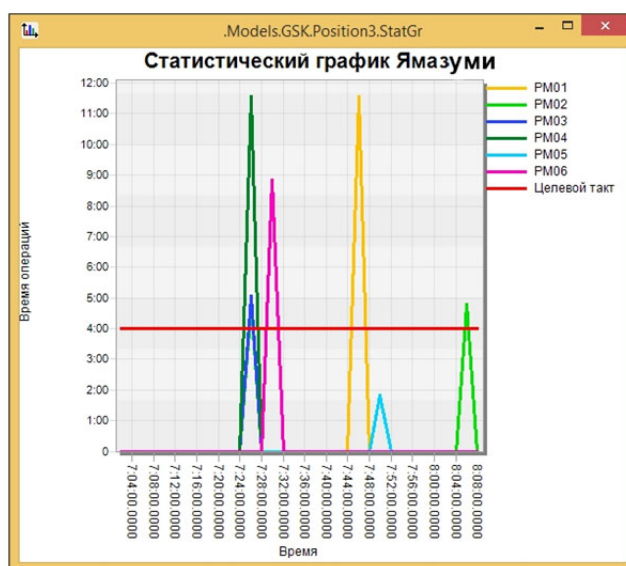


Рис. 5. Статистический график Ямазumi

Статистический график Ямазуми представляет собой линейный график для одной позиции конвейера, в котором время загруженности персонала не должно превышать целевого такта (рис. 5). Он позволяет выявить время возникновения сбоя при сборке автомобиля. В случае, если загруженность персонала превышает значение целевого такта конвейера, требуется произвести корректировку технологического процесса за счет балансировки технологических операций между персоналом.

Как видно из рис. 5, целевой такт конвейера превышен, что еще раз свидетельствует о том, что технологический процесс написан некорректно, поэтому он должен быть отправлен на доработку инженеру-технологу.

**Заключение.** Таким образом, использование цифрового двойника сборочной линии, построенного в среде Tecnomatix Plant Simulation, позволяет на основе вышеприведенных индикаторов и графиков отслеживать заданный уровень производительности конвейера, своевременно выявлять отклонения и предпринимать меры для выполнения заложенного плана производства. Следующим этапом использование имитационной модели сборочной линии, которая является цифровой копией реального физического объекта, будет проведение оптимизационного эксперимента для расчета ресурсных параметров работы системы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Макарова И.В. Взаимодействие производственной и сервисной систем при реализации принципов клиентоориентированности в индустрии 4.0 / И.В. Макарова, П.А. Буйвол // Вестник луганского национального университета имени Владимира Даля, № 6 (24). – 2019. — С. 159-162.
2. РБК Тренды: [Электронный ресурс]. URL: <https://trends.rbc.ru> (Дата обращения: 3.09.2021).
3. SIEMENS: [Электронный ресурс]. URL: <https://new.siemens.com> (Дата обращения: 4.09.2021).
4. IDEAL-PLM: [Электронный ресурс]. URL: <https://ideal-plm.ru> (Дата обращения: 14.09.2021).
5. Рамзаева Е.А. Имитационное моделирование: Учебное пособие. - М.: Самара, 2013. – 6-7 с.

6. SIEMENS. Официальный сайт. : [Электронный ресурс]. URL: <https://www.siemens.com/global/en.html> (Дата обращения: 10.09.2021).

#### **Chernov A.O., Buyvol P.A., Makarova I.V. IMPROVING THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THE VEHICLE ASSEMBLY LINE WITH THE USE OF DIGITAL TWINS**

*The article describes the essence and main advantages of simulation and digital twins of production processes. An example of working with a digital twin of an automobile production's assembly line is given, in particular, the main indicators that allow determining a decrease in the productivity of a conveyor line are described.*

**Key words:** simulation, simulation model, Industry 4.0, assembly line, digital twin.

**Чернов Артур Олегович**, магистрант, Казанский Федеральный университет, г. Набережные Челны.  
**E-mail:** sir.artur116@yandex.ru

**Chernov Artur Olegovich**, Master's degree student, Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny.

**Буйвол Полина Александровна**, канд. техн. наук, доцент, Казанский Федеральный университет, г. Набережные Челны.

**Buyvol Polina Aleksandrovna**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny.

**Макарова Ирина Викторовна**, доктор техн. наук, профессор, Казанский Федеральный университет, г. Набережные Челны  
**E-mail:** kamIVM@mail.ru

**Makarova Irina Viktorovna**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny  
**E-mail:** kamIVM@mail.ru

**Рецензент: Кулаков Александр Тихонович**, д.т.н., проф., зав. кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Набережной Челны.

*Статья подана 22.03.2022*

## ДРУГИЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУКИ

УДК 332.012.2:378

### ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ РЕГИОНОВ

Барышникова Л. П.

### THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF MANAGEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF REGIONS

Baryshnikova L.P.

*Освещены теоретико-методологические основы управления устойчивым развитием региона в условиях рынка. Представляя регион, как составляющую часть социально-экономической системы страны, выделены принципы его функционирования, факторы устойчивости и алгоритм управления устойчивым развитием.*

**Ключевые слова:** регион, устойчивое развитие, управление региональным развитием.

**Актуальность темы исследования.** В условиях глобализации мировой экономики, с усилением международной конкуренции, общенациональным экономическим приоритетом является обеспечение устойчивого развития отечественной экономики. В данном контексте согласованные действия региональных образований могут обеспечить достижение поставленных амбициозных целей в пределах всей страны.

Устойчивое развитие территориальных образований любого масштаба (будь то страна, регион, область) сегодня предполагает решение множества тактических задач на пути достижения стратегических целей. Установление четко обозначенных стратегических приоритетов устойчивого развития с учетом локальной специфики способствует определению векторов движения экономики региона с гарантированной успешной оценкой достижения целей.

В этой связи, объективной потребностью сегодняшнего дня становится формирование теоретико-методологических основ управления устойчивым развитием региона на основе практического опыта и с учетом имеющегося территориального ресурсного потенциала. Кроме ориентиров конечной и промежуточных целей, необходимо обоснованное использование соответствующего инструментария по реализации намеченной цели, согласованность действий органов управления всех уровней и хозяйствующих субъектов на подконтрольных территориях.

**Состояние разработки проблемы.** Весомый вклад в исследование направлений формирования

стратегий социально-экономического развития регионов внесли научные труды отечественных и зарубежных ученых: И. Ансоффа, С. Бобылева, Л.Владимировой, А. Градова, Л. Гуриевой, В. Ерохина, Н.Зубаревич, Т. Питерса, Р. Уотермена, А. Федорович, М. Фетисова и других. Вместе с тем, несмотря на множество теоретических разработок, лежащих в основе парадигм, многообразие новых факторов, вызовов и рисков, которые отличают современную эпоху, с особой остротой ставят вопросы дальнейшего совершенствования концепций, инструментов и технологий в области теоретико-методологического обеспечения устойчивого развития территорий.

**Цель статьи.** Исследование теоретико-методологических основ управления устойчивым развитием региона в условиях рынка.

**Основные результаты исследования.** В настоящее время вопросы изучения и развития теории устойчивого развития регионов и страны в целом достаточно востребованы, поскольку отсутствуют адекватные общественные институты, способные обеспечить неуклонно восходящий экономический тренд. Вследствие недостаточности финансовых ресурсов, которая обусловлена сокращением производства, уменьшением налоговых поступлений, снижением инвестиционной активности, возникает необходимость поиска новых возможностей для создания конкурентных преимуществ территориальных образований. Макроэкономическое планирование и управление развитием национальной экономики требует перенесения основ и методов концепции стратегического управления с микроэкономического уровня на уровень национальной и региональной экономики с последующей его практической имплементацией.

Стабильность региона характеризует способность сохранять присущий ему качественный уровень развития и возможность к экономическому росту показателей независимо от внешних и

внутренних условий и факторов. Региональная экономика специфична в результате неравномерного социально-экономического развития территорий. Это объясняется неоднородностью структуры бюджета, межрегиональными различиями по показателям безработицы, доходам населения и прочее. При этом управление устойчивым развитием регионов преследует цель реализации мероприятий, направленных на обеспечение экономического роста, совершенствование системы управления в отраслях социальной сферы, повышение качества жизни населения, улучшение демографической ситуации, развитие соответствующей инфраструктуры, обеспечение экономической безопасности и т.д.

В этой связи достижение стабильности регионального развития оценивается с помощью количественных и качественных показателей, являющиеся базой для выработки направлений государственного регулирования. Кроме того, устойчивое развитие должно отвечать следующим требованиям:

- максимизация чистых выгод экономического развития в результате сохранения доступности природных ресурсов и обеспечения их качества во времени;
- необходимость увеличения реальных доходов на душу населения и других макроэкономических показателей;
- позитивность структурных изменений в экономике и обществе.

Выполнение данных требований возможно путем:

- признания роста благосостояния населения как целевой функции устойчивого регионального развития;
- обеспечения экологической безопасности, учитывающей интересы будущих поколений и их право на лучшую среду обитания;
- сохранения и приумножения природных ресурсов;
- признание необходимости достижения нового уровня качества жизни населения.

Стабильность региона определяется эффективностью функционирования трех основных подсистем: экономической, социальной и экологической (рис. 1).

Представленные три подсистемы предполагают наличие факторов стабильности. Представляя регион как составляющую социально-экономической национальной системы, необходимо выделить системные принципы его эффективного функционирования и развития:

1. Интегративность, которая приводит к появлению нового качественного состояния

экономики региона в результате объединения и взаимодействия всех элементов системы.

2. Эмерджентность подразумевает несовпадение целевых функций отдельных структурных подсистем с целевой функцией всей системы.

3. Синергичность - осуществление деятельности, направленной на увеличение конечного результата.

4. Целостность предполагает существование социально-экономических систем как организационно и функционально целостных образований, при этом каждый элемент системы выполняет определенные функции.

5. Оптимальная централизованность – баланс между принципами централизации и децентрализации управления.

6. Обратная связь – круговорот информационных потоков между субъектами и объектами управления.

7. Совместимость проявляется в способности подсистем и элементов системы до взаимного приспособления.

8. Адаптивность подразумевает способность региона приспосабливаться к постоянным изменениям внутренних и внешних условий, всей национальной системы в целом без снижения эффективности и стабильности жизнедеятельности.

9. Эластичность – возможность системы вернуться в состояние равновесия после наступивших изменений.

10. Безопасность предполагает наличие минимально необходимой устойчивости системы для обеспечения ее жизнеспособности.

Вопросы устойчивого развития в современных существующих концепциях рассматриваются в тесном взаимодействии с процессами управления. При этом формированием и развитием региона управляют как общие законы, так и специфические, отражающие объективные, внутренние, устойчивые причинно-следственные связи, которые неизменно повторяются и происходят в экономических процессах и явлениях.

В условиях рынка научной основой управления развитием региональной экономики являются объективные законы, такие как: закон устранения межрегиональной социальной и экономической поляризации; закон региональной специализации и межрегиональной торговли и формирование локальных рынков; закон системного развития и структурной модернизации и т.д. Соблюдение и последовательность реализации законов развития лежит в основе разработки алгоритма управления устойчивым региональным развитием (рис.2).



Рис. 1. Подсистемы устойчивого развития региона



Рис. 2. Алгоритм управления устойчивым региональным развитием

Представленная система управления выполняет важные функции, а именно: формулирует цель и задачи управления устойчивым развитием на определенный временной период; служит базой для реализации стратегии устойчивого регионального развития, которые должны быть сбалансированы между собой.

**Выводы.** Концепция устойчивого развития представлена триадой составляющих: социально-экономического, социокультурного и социоэкологического компонентов. Их синтез и сбалансированность способны обеспечить устойчивое развитие региона. В свою очередь, такое триединство представляет собой процесс прогрессивной трансформации качественных и количественных показателей функционирования региональной системы, обеспечивающей создание и поддержание оптимальных условий для повышения качества жизни граждан.

Система управления устойчивым развитием региона рассматривается как совокупность средств, инструментов, методов, направлений, институтов, ориентированных на решение долгосрочных целей и задач регионального развития с учетом существующих условий и возможных ограничений на основе стратегического планирования.

#### Л и т е р а т у р а

1. Баришнікова Л.П. Когнітивний аналіз в довгостроковому прогнозуванні сталого розвитку соціально-економічної системи регіонів: монографія /Л.П. Баришнікова. – Донецьк: «Ноулідж» (донецьке відділення), 2012. - 354 с.

2. Иванова Т.Л. Сталый розвиток національної економіки: монографія /Т.Л. Иванова. – Донецьк: ВІК, 2015. – 454 с.

**Baryshnikova L.P.**

#### THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF MANAGEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF REGIONS

*The theoretical and methodological foundations of managing sustainable development of the region in market conditions are highlighted. Representing the region as a component of the socio-economic system of the country, the principles of its functioning, the factors of sustainability and the algorithm for managing sustainable development are highlighted.*

**Key words:** region, sustainable development, management of regional development.

**Барышнікова Леля Петровна**, д-р екон. наук, доцент, завідує кафедрою маркетингу та логістики ГОУ ВПО «Донецька академія управління та державної служби при Главі Донецької Народної Республіки».

**Baryshnikova Lelia Petrovna**, doctor of economic sciences, associate professor, SEE HPE «Donetsk academy of management and public administration under the Head of Donetsk People's Republic» Donetsk, DPR.

**Рецензент: Максимова Татьяна Семеновна**, д.э.н., профессор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Стаття подана 14.05.2022

УДК 621.383

## ОБУЧАЕМОЕ УСТРОЙСТВО, МОДЕЛИРУЮЩЕЕ ВОСПРИЯТИЕ И РАСПОЗНОВАНИЕ ОБРАЗОВ ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ

Бобровский Г.А.

### TRAINING DEVICE SIMULATING THE PERCEPTION AND RECOGNITION OF IMAGES OF THE MOTION OF CONTROL OBJECTS

Bobrowskiy G.A.

*Рассматриваемое устройство моделирует восприятие и распознавание образов характера движения объекта контроля (ОК), в котором изменение во времени параметров оптического излучения в каждой точке траектории движения ОК может быть представлено в виде оптического изображения образа этого движения, отнесенного к определенному классу образов. Устройство предназначено для преобразования в образы информации, получаемой при прохождении световых лучей через фотоупругие элементы, находящиеся под действием механических деформаций, пропорциональных параметрам движения объекта контроля.*

**Ключевые слова:** явление фотоупругости (пьезооптический эффект); фотоупругий элемент; поляризатор; оптический анализатор; фотодетектор; центробежная (центростремительная) сила; сила инерции; сила тяжести; механическое напряжение; оптический образ процесса перемещения объекта; оптический изолятор; режим обучения устройства; центр масс (центр инерции); равнодействующая системы сил; линейная поляризация; циркуляционная поляризация.

**Введение.** Явление фотоупругости (пьезооптический эффект) – это явление возникновения анизотропии в изначально изотропных твердых телах под действием механических напряжений [1], [2]. Открыто в 1813 году Т.И. Зеебеком. Принцип построения обучаемых систем, которые моделируют восприятие и распознавание образов, был впервые сформулирован спустя 144 года в 1957 году Ф. Розенблаттом [3], [4], [5], [10]. В настоящей работе сделана попытка объединить эти два открытия в одном устройстве с названием «Обучаемое устройство, моделирующее восприятие и распознавание образов характера движения объектов контроля» («Пьезооптический персептрон»), осуществляющее обучение формированию образов как в обычном режиме обучения, так и в режиме самообучения. Устройство предназначено для применения в объектах, совершающих движение в трехмерном и двухмерном пространстве (летательные аппараты, средства наземного транспорта).

**Изложение основного материала.** Пьезооптическое устройство для распознавания

(восприятия) характера движения объекта контроля (ОК) – это устройство осуществляющее измерения на основе явления фотоупругости в сочетании с распознаванием совокупности параметров световых лучей, до и после их прохода через фотоупругие элементы на разных этапах перемещения ОК и формированием оптического образа процесса перемещения. Нами предложено реализовать данное устройство (У) в соответствии со структурной схемой, представленной на рис.1, с некоторыми, рассмотренными далее модификациями, связанными с конкретизацией набора выполняемых им заданных операций.

Устройство содержит следующие функциональные элементы: лазерный или оптоэлектронный светодиод 1; оптический изолятор 2; поляризатор 3; фотоупругие элементы (ФУпЭ) 4; грузы 5, соединённые с элементами 4; четвертьволновые пластины 6, которые вырезают из двулучепреломляющих кристаллов параллельно оптической оси толщиной  $d$ , равной

$$d = \{ \lambda (1 + 4k) \} / \{ 4 (n_o - n_e) \}, \quad (1)$$

$d$  – толщина пластины;  $\lambda$  – длина волны излучения;  $k$  – любое целое число;  $n_o$ ,  $n_e$  – показатели преломления обыкновенной и необыкновенной волны на линии спектра  $\lambda$ ;

оптические анализаторы 7; линзы 8 и фотодетектор 9.

Назначение элементов устройства: светодиод 1 – источник излучения; оптический изолятор 2 – прибор, используемый в волоконнооптических системах для подавления шумов, обусловленных воздействием обратно рассеянного излучения на лазерный излучатель, вызывая флуктуации его мощности; поляризатор 3 – устройство, преобразующее входной неполяризованный свет в линейно поляризованный; фотоупругие элементы 4 – это изотропные элементы, которые под действием механических нагрузок проявляют пьезооптический и / или фотоэластический эффекты и связанную с ними анизотропию в виде двойного лучепреломления; грузы 5 – элементы, осуществляющие заданное механическое воздействие на фотоупругие элементы 4 при

перемещении объекта контроля; элемент 6 – четвертьволновые пластины, на выходе которых свет может быть циркулярно поляризован, если выполняются соотношения (2) и (3)

$$\Delta = \{ (2 \pi d (n_o - n_e)) / \lambda \} = \pi / 2, \quad (2)$$

$$v = 45 \text{ градусов}, \quad (3)$$

где в соотношениях (2) и (3) имеем:  $\Delta$  – разность фаз ортогональных компонент электрического вектора, вносимая четвертьволновой пластиной в излучение;

$v$  – угол между направлением пропускания линейного поляризатора и оптической осью четвертьволновой пластины; знак угла « $v$ » определяет знак круговой поляризации света;

оптические анализаторы 7 – оптические приборы для определения характера поляризации света (линейная поляризация; левоциркулярная; правоциркулярная; эллиптическая с правым вращением вектора  $E$ ; эллиптическая с левым вращением вектора  $E$  поляризация), прошедшего через фотоупругие элементы 4 и четвертьволновую пластину 6; линзы 8 – приборы для преобразования формы светового пучка; фотодетектор 9 – прибор, выполняющий распознавание (восприятие) совокупности сигналов, поступающих от анализаторов 7 и формирующий на их основе оптический образ процесса перемещения объекта контроля.

Фотоупругие элементы 4 и взаимодействующие с ними грузы 5 образуют пьезооптический приёмник (ПОП) линейно поляризованного света, поступающего от поляризатора 3, и создаваемых грузами 5 механических напряжений на фотоупругие элементы 4 при перемещении объекта контроля. ПОП выполнен в виде пьезооптической матрицы с пьезооптической чувствительностью всех её элементов, которая перемещается совместно с объектом контроля. Она состоит из отдельных  $N$ -фотоупругих элементов 4 (4.1, 4.2, ..., 4.N), каждый из которых находится в контакте с обособленными  $N$ -частями груза 5 (5.1, 5.2, ..., 5.N) по конфигурации не совпадающей с конфигурациями соприкосновения остальных частей груза 5 со своими ФУПЭ 4 (ФУПЭ 4.1- груз 5.1), (ФУПЭ 4.2- груз 5.2), ..., (ФУПЭ 4.N- груз 5.N). При этом масса грузов 5.1, 5.2, ..., 5.N варьируется случайным образом, изменяя случайным образом веса их связи с параметрами движения ОК. В результате пьезооптическая матрица во время движения ОК осуществляет пространственно - временную модуляцию света в её каналах [6], [7]. Анализаторы 7 света, прошедшего через фотоупругие элементы 4 и четвертьволновую пластину 6, воспринимают  $N$ - пучков света с выходов  $N$ - фотоупругих элементов 4 и определяют характер поляризации каждого из указанных пучков.

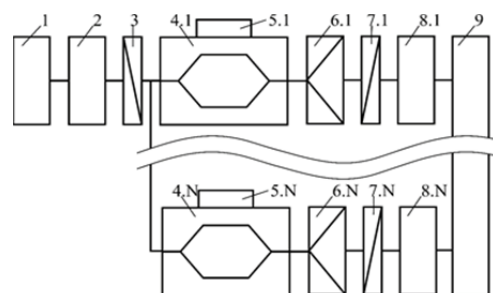


Рис. 1. Структурная схема пьезооптического устройства для установления характера движения объекта контроля с формированием оптических образов этого движения

При перемещении объекта контроля между ним и элементами, которые перемещаются вместе с ОК, происходит непрерывное силовое взаимодействие. В частности, если в движении по криволинейной траектории пути вместе с ОК перемещается некоторый груз 5.1 и контактирующий с ним фотоупругий элемент 4.1, то груз 5.1 будет воздействовать на ФУПЭ 4.1 с силой  $F_{цб}$ , равной

$$F_{цб} = m \cdot V^2 / R, \quad (4)$$

где  $F_{цб}$  – центробежная сила;  $m$ - масса груза;  $v$ - его скорость;  $R$ - радиус кривизны траектории движения объекта контроля (ФУПЭ и груза).

При ускорении (замедлении) движении ОК между грузом 5.1 и фотоупругим элементом 4.1 имеет место силовое воздействие на ФУПЭ с силой  $F_i$  равной

$$F_i = m \cdot a, \quad (5)$$

где  $F_i$  – сила инерции;  $m$  – масса груза;  $a$  – модуль его ускорения

В систему сил, рассматриваемых силовых взаимодействий, которые создают механические напряжения в ФУПЭ 4.1 входит также сила тяжести  $P$ . Эта сила действует на любую материальную точку и определяется как геометрическая сумма векторов силы притяжения земли  $P_z$  и центробежной силы инерции  $Q_z$ , учитывающей эффект суточного вращения земли.

$$P = P_z + Q_z \quad (6)$$

Любая из этих сил – величина векторная, которая в любой момент времени характеризуется:

1) Численным значением  $P$ ,  $F_{цб}$  (и равной ей по величине, но противоположной по направлению центростремительной силы  $F_{цс}$ ), а также силы  $F_i$ .

2) Направлением в пространстве: сила  $F_{цб}$  направлена от центра кривизны траектории движения по её главной нормали, сила  $F_{цс}$  – противоположно силе  $F_{цб}$ , сила  $F_i$  направлена противоположно ускорению, сила тяжести  $P$  направлена по вертикали в данной точке земной поверхности.

3) Точкой приложения, которая находится в центре масс (центре инерции), то есть в точке, характеризующей распределение масс в системе

взаимодействующих тел. При движении объекта контроля центр масс движется как материальная точка с массой этих тел, в которой приложены все силы, действующие в системе.

Равнодействующие каждой системы сил определяются их геометрическим сложением по правилу параллелограмма сил. При этом равнодействующая сила направлена по диагонали параллелограмма, построенного на заданных силах и численно равна длине диагонали. Во время движения ОК в трёхмерном пространстве происходит непрерывное изменение величины равнодействующих сил, воздействующих на фотоупругие элементы устройства в связи с тем, что в соответствии с системой уравнений (7.1), ... (7.N) силы, вызывающие механические напряжения в фотоупругих элементах зависят от параметров движения ОК и траектории пути его перемещения. В частности, центробежные силы зависят от квадрата скорости ОК, радиуса кривизны пути и массы грузов 5.1, ... 5.N, силы инерции – от величины ускорения объекта контроля и массы грузов.

$$\begin{aligned} F_{ц5.1} &= m_{5.1} * V^2 / R & F_{ц5.N} &= m_{5.N} * V^2 / R \\ F_{и5.1} &= m_{5.1} * a & \dots & F_{и5.N} = m_{5.N} * a \\ P_{5.1} &= P_{z5.1} + Q_{z5.1} & P_{5.N} &= P_{z5.N} + Q_{z5.N} \end{aligned} \quad (7.1) \quad (7.N)$$

Момент  $M_c$  равнодействующей  $F$  указанных сил из системы (7) относительно центра тяжести  $O_f$  соответствующего фотоупругого элемента – величина векторная, равная произведению модуля силы  $\text{mod}F$  на кратчайшее расстояние  $h$  от центра  $O_f$  до прямой, вдоль которой действует сила  $F$ :

$$M_c = \text{mod}F * h, \quad (8)$$

Фотоупругие элементы на появление в них механических напряжений (деформаций) отвечают изменением диэлектрической проницаемости, которое проявляется в виде пьезооптического эффекта. В свою очередь, зависимость диэлектрической проницаемости вещества от деформации приводит к двойному лучепреломлению и дихроизму. Иными словами, механические напряжения на время их действия преобразуют первоначально изотропное тело в оптически анизотропное. К примеру, при одноосном растяжении или сжатии изотропное тело приобретает свойства оптически одноосного кристалла с оптической осью, параллельной оси растяжения или сжатия. При двухстороннем растяжении и более сложных деформациях кристалл становится двухосным.

Лучевая скорость плоской волны, распространяющейся в оптически анизотропном кристалле зависит от характера поляризации световой волны приводит к тому, что световые лучи в кристалле раздваиваются, то есть испытывают двойное лучепреломление В одноосном кристалле

один из преломлённых лучей подчиняется обычным законам преломления для изотропного тела (так называемый обычный луч), а второй этим законам не подчиняется (необычный луч). При прохождении через среду обыкновенная и необыкновенная волны приобретают разность фаз  $\Delta \phi$ , равную

$$\Delta \phi = q * d * U, \quad (9)$$

где  $q$  – коэффициент упругости;  $d$  – толщина среды;  $U$  – напряжение, приложенное к среде.

Таким образом, в устройстве рис.1 любой из фотоупругих элементов 4.1, 4.2, ..., 4.N во время механического воздействия, достаточного для перевода его в состояние одноосного кристалла, посылает со своего выхода две световые волны (обыкновенную и необыкновенную), которые после прохода через четвертьволновую пластину 6 могут быть охарактеризованы сдвигом фаз  $\Delta \phi$ , равным

$$\Delta \phi = q * \lambda * U / 4, \quad (10)$$

где  $\lambda$  – длина волны светового излучения.

При более сложных механических воздействиях на фотоупругие элементы, таких как двухстороннее растяжение (сжатие), когда ФУпЭ приобретает свойства двухосного кристалла имеют место следующие явления. В двухосном кристалле оба луча являются необычными. Две волны, возникающие в кристалле при двойном лучепреломлении когерентны и с помощью поляризационных устройств направления колебаний в вышедших из кристалла волнах могут быть сведены в одну плоскость. При этом можно наблюдать их интерференцию.

При снятии механических напряжений (при прекращении действия внешних сил на ФУпЭ) фотоупругие элементы 4.1, 4.2, ..., 4.N возвращаются в исходное состояние. Это вытекает из того, что первопричиной возникновения фотоупругости является упругая (восстанавливаемая) деформация электронных оболочек атомов и молекул и ориентацией анизотропных молекул или их частей, а в полимерных материалах – упругим раскручиванием и ориентацией полимерных цепей.

Рассмотрим две важные модификации, представленного в данной работе обучаемого устройства.

1. В случае, когда при построении данного устройства грузы 5.1,...,5.N выполняются в виде набора отдельных элементов с массами  $m_i$  и координатами их центров тяжести  $x_i, y_i, z_i$ , координаты центра тяжести такой системы грузов  $X, Y, Z$  определяются по формулам (12), (12), (13), их суммы берутся от  $i=1$  до  $i=n$ , где  $n$  – число элементов, образующих груз.

$$X = \frac{\sum m_i * x_i}{\sum m_i}, \quad (11)$$

$$Y = \frac{\sum m_i * y_i}{\sum m_i}, \quad (12)$$

$$Z = \frac{\sum m_i \cdot z_i}{\sum m_i}, \quad (13)$$

2. В том случае, когда грузы 5.1,...,5.N устройства представляют собой однородные тела с произвольной поверхностью их сопряжения с фотоупругими элементами 4.1,...,4.N имеем:

Объем тела (груза) определяется формулой (14):

$$V = \int_V dv = \iiint dx dy dz, \quad (14)$$

Координаты X, Y, Z центра тяжести груза определяется соотношениями (15), (16), (17):

$$X = \frac{\iiint x dz dy dx}{\iiint dz dy dx}, \quad (15)$$

$$Y = \frac{\iiint y dz dy dx}{\iiint dz dy dx}, \quad (16)$$

$$Z = \frac{\iiint z dz dy dx}{\iiint dz dy dx}, \quad (17)$$

Работа A, затрачиваемая силой F на перемещение материальной точки тела ФУПЭ от  $x=a$  до  $x=b$  по прямой OX, совпадающей с направлением силы, если величина силы – переменная  $F=f(x)$  определяется по формуле (18):

$$A = \int_a^b F \cdot dx, \quad (18)$$

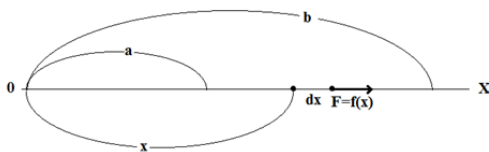


Рис. 2. К определению работы A в соответствии с уравнением 18

В общем случае, когда направление силы  $F=f(R)$  не совпадает с направлением движения, а также если тело движется по криволинейному пути, работа A вычисляется по криволинейному интегралу (19):

$$A = \int_{ab} F dR, \quad (19)$$

где R – радиус кривизны пути перемещения материальной точки (тела); A – работа, которую совершает сила  $F=f(R)$  при переносе материальной точки (тела) ФУПЭ по криволинейному пути ab. Интеграл 19 – это интеграл вектор – функции F(R), взятый по пути ab (см. рис. 3).

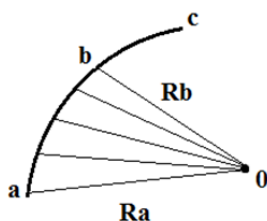


Рис. 3. К определению работы A в соответствии с уравнением 19

Каждая из названных выше сил может совершать упругую деформацию фотоупругих элементов, если в результате ее действия произойдет перемещение материальной точки в месте приложения силы к ФУПЭ на определенную величину, вызывающую растяжение, сжатие, кручение и др. и этим сделать свой вклад в изменение поляризационной картины световых лучей. Вид деформации (вид поляризации) определяет совместное действие всех сил порознь либо вместе.

Для совершения упругой деформации необходимо, чтобы соответствующая сила совершила работу по перемещению материальной точки (тела), при этом величина работы определяется соответствующими уравнениями (18) и (19).

Обучение устройства восприятию и распознаванию образов характера движения осуществляется на основе того, что каждому классу характера движения (к примеру, классу предаварийного движения на линейном (криволинейном) участке пути) ставится в соответствие поляризационная картина световых лучей на выходах матрицы пьезочувствительных элементов с грузами. Эта картина декодируется цепочкой элементов включающей четвертьволновые пластины 6, оптические анализаторы 7, линзы 8 и фотодетектор 9. Обучение проводится в одном из двух режимов:

1) в ручном режиме обучения с коррекцией ошибок, когда распознаваемый класс характера движения ОК указывается извне человеком, а изменение весов связей производится только в случае ошибочного решения;

2) в режиме самообучения информация о классе характера движения формируется непосредственно устройством. Переход к этому режиму обучения осуществляют по мере накопления информации во время испытаний в режиме с коррекцией ошибок.

На наш взгляд применение методов обучения с коррекцией ошибок в сочетании с последующим методом самообучения устройства может обеспечить более высокую степень надежности и достоверности в сравнении с методами нечеткого моделирования [8], [9].

**Выводы.** 1. Разработана структурная схема обучаемого устройства, моделирующего восприятие и распознавание образов характера движения объекта контроля. Определены функции элементов, входящих в это устройство.

2. Предложен формульный ряд, необходимый для расчета и проектирования пьезооптической матрицы на основе пьезоэлементов, сопрягаемых с грузами.

3. Рассмотрены возможные варианты модификации устройства для повышения его чувствительности к параметрам, определяющим характер движения ОК: траектория движения

(прямолинейная, криволинейная с радиусом кривизны  $R$ ); скорость  $V$ ; ускорение  $a$ ; положение ОК относительно направления вектора силы тяжести  $\pi$  (к примеру, полностью перевернутое «вверх ногами» положение ОК, либо перевернутое частично «лежа на боку» положение и др.

4. Выполнен анализ процессов, протекающих в связке (ФУПЭ + грузы) при движении объекта контроля, совместно с которым по той же траектории движется указанная связка. На основе этого анализа определена пропорциональная параметрам движения объекта контроля система сил, которая может участвовать в создании упругих деформаций вида растяжение, сжатие, закручивание, раскручивание в различных сочетаниях (центробежные  $F_{цб}$ , центостремительные  $F_{цс}$  силы, силы инерции  $F_i$ , силы тяжести  $P$ ).

5. Устройство является обучаемым к восприятию и распознаванию образов характера движения ОК в режиме коррекции ошибок либо в режиме самообучения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Фрохт М.М. Фотоупругость, пер. с англ., т.1\_2, М. –Л., 1948 – 50. – 488 с.
2. Дитчберн Р. Физическая оптика, пер. с англ. –М., 1965. – 637 с.
3. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики, пер. с англ. – М., 1965. – 478 с.
4. Минский М., Пейперт С. Перцептроны, пер. с англ. – М., 1971. – 261 с.
5. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов. –М., 1974. – 416 с.
6. Пространственная модуляция света, под ред. С.В. Гуревича. –М., 1977.
7. Пространственные модуляторы света, под ред. И.Н. Компанца. – М., 1987.
8. А. Пегат, Нечеткое моделирование и управление/ пер. с англ.-М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.
9. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами МАТ LAB. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2007. – 288 с.

10. Р. Колин Джонсон. Биоэлектронный глаз – мечта или реальность? // ЭКис. – Киев: VD MAIS, 2004, №4. – с. 3,4. (Replaceable Eyeball by R. Colin. – EETimes, November 2004, сокращенный перевод с английского В. Романов).

**Bobrowskiy G.A.**

#### TRAINING DEVICE SIMULATING THE PERCEPTION AND RECOGNITION OF IMAGES OF THE MOTION OF CONTROL OBJECTS

*The considered device simulates the perception and recognition of patterns of the nature of the movement of the object of control (OC), in which changes in time of the parameters of optical radiation at each point of the trajectory of the OC can be represented in the form of an optical image of the image of this movement, referred to a certain class of images. The device is designed to transform into images the information obtained when the light rays pass through the photoelastic elements under the action of mechanical deformations proportional to the parameters of the controlled object movement.*

**Keywords:** photoelasticity phenomenon (piezo-optical effect); photoelastic element; polarizer; optical analyzer; photodetector; centrifugal (centripetal) force; force of inertia; gravity; mechanical stress; optical image of the process of moving an object; optical isolator; device learning mode; center of mass (center of mass); resultant system of forces; linear polarization; circulating polarization.

**Бобровский Геннадий Александрович**, к.т.н., доц. кафедры микро- и нанoeлектроники ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.  
**E-mail:** nanobobr@bk.ru

**Bobrowskiy Gennadiy**, Ph.D., docent of department of micro- and nanoelectronics of SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Яковенко Валерий Владимирович**, д.т.н., проф., зав. кафедры электромеханики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

*Статья подана 15.03.2022*

УДК 81:1

**ПРОБЛЕМА ВЗАИМОСВЯЗИ ЯЗЫКА, СОЗНАНИЯ И МЫШЛЕНИЯ****Воронцова Т.Ю.****THE PROBLEM OF INTERCONNECTION BETWEEN LANGUAGE, CONSCIOUSNESS AND THINKING****Vorontsova T.Yu.**

*В статье проанализирована проблема взаимосвязи языка, сознания и мышления как важных составляющих личности человека. Сделан акцент на том, что язык находится в тесных взаимоотношениях с мышлением и сознанием, выражает не только конкретное содержание мысли или семантический уровень мышления, но и закрепляет логику мышления. Установлено, что исследователи данной проблемы признают несомненную связь между языком, сознанием и мышлением, однако по-разному понимают природу этой связи.*

**Ключевые слова:** язык, сознание, мышление, самосознание, культурный архетип

**Введение.** Проблема взаимосвязи языка и сознания, языка и мышления всегда была в центре психологических и философских исследований. Изучение данного вопроса позволяет не только объяснить природу самого сознания и языка как уникальных феноменов, обуславливающих все человеческое в человеке, но и дает возможность проследить развитие человека, процесс становления его сознания и самосознания не только в эволюционно-общественном, но и в индивидуально-личностном плане. Сознание и язык – две важнейшие составляющие человеческой личности, которые могут быть раскрыты только через познание друг друга, так как одно определяет развитие и существование другого. Все теории языка связаны с развитием сознания, становление которого происходит в языке и благодаря языку, за счет чего и оказывается возможным проследить формирование человеческого сознания и, в частности, самый важный компонент его структуры – самосознание.

**Изложение основного материала.** Проблемы взаимосвязи языка и сознания, языка и мышления представлены в работах Г.В.Ф. Гегеля, Л.С. Выготского, Л.С. Леонтьева, А.А. Жинкина, А.Р. Лурия, Ж. Пиаже, Р. Якобсона, В.В. Морковкина, В.З. Панфилова, С.Лангер. Феномен сознания исследуется В.А. Лекторским, Б.М. Величковским, Д.И. Дубровским, М.И. Мамардашвили, А.Г. Спиркиным, В.В. Налимовым, Дж. Серлом. Язык как предмет философского исследования анализируется в работах Аристотеля, Платона, Плотина, Г. Лейбница, Ф.Бэкона, Дж.Беркли, Ф. Ницше, Б. Рассела, Л. Витгенштейна, Р. Карнапа, Дж. Пирса, Х.-Г. Гадамера,

П. Рикёра, В. Дильтея, М. Бартоли, Дж. Бертони, М. Хайдеггера, Д. Льюиса и др. В трудах Платона, Аристотеля, В. фон Гумбольдта, Ф. де Соссюра, Э. Сепира, Б. Уорфа, Л. Вайсгербера, Л. Блумфилда, Н. Хомского представлены различные лингвистические концепции языка.

Цель статьи – рассмотреть проблему взаимосвязи языка, сознания и мышления как главных составляющих личности человека.

Для решения проблемы обратимся к определению понятий «сознание», «мышление», «язык», поскольку, по мнению Дж. Серля: «... никакая теория языка не является полной без объяснения отношения между сознанием и языком, а также того, как значение, то есть производная интенциональность лингвистических элементов, основывается на более глубокой в биологическом отношении внутренней интенциональности «сознание – мозг»» [14].

«Сознание» – это более широкое по объему понятие, чем «мышление». «Сознание – это высшая, свойственная только человеку и связанная с речью функция мозга, заключающаяся в обобщенном, оценочном и целенаправленном отражении и конструктивно-творческом преобразовании действительности, в предварительном мысленном построении действий и предвидении их результатов, в разумном регулировании и самоконтролировании поведения человека» [14]. Структура сознания состоит из следующих секторов: телесно-перцептивный, логико-понятийный, эмоциональный и ценностно-мотивационный.

Заслуживает внимания определение сознания, предложенное В.А. Лекторским: «Сознание – состояние психической жизни индивида, выражающееся в субъективной переживаемости событий внешнего мира и жизни самого индивида, в отчете об этих событиях. Сознание противопоставляется бессознательному в разных его вариантах (неосознаваемое, подсознание и т. д.)» [8].

Понятие «мышление» является аспектуальным по отношению к понятию «сознание». «Мышление – процесс решения проблем, выражающийся в переходе от условий, задающих проблему, к получению результата. Мышление предполагает активную конструктивную деятельность по

переструктурированию исходных данных, их расчленение, синтезирование и дополнение» [8]. Выделяются следующие виды мышления: мышление на базе восприятия, с помощью наглядных представлений (мышление музыканта, писателя, спортсмена и др.), на основе языка. Последняя разновидность мышления может выражаться как в форме внешне выраженной речи, так и в виде речи внутренней. Подобное мышление «...может быть ненаглядным, использовать понятия, непосредственно не соотносимые с восприятием или представлением. Исторически именно этот частный вид мышления – ненаглядное мышление «в уме» – считался выражением сущности мышления» [8].

Что касается понятия «язык», то чаще всего он определяется следующим образом: «Язык – система знаков, служащая средством человеческого общения, мышления и выражения. С помощью языка осуществляется познание мира, в языке объективируется самосознание личности. Язык является специфическим социальным средством хранения и передачи информации, а также управления человеческим поведением» [16].

Представляет интерес точка зрения на взаимоотношение мышления, языка и сознания современного отечественного лингвиста В.В. Морковкина. Учёный предлагает рассматривать мышление, сознание и язык как «ипостаси единого ментально-лингвального комплекса». Будучи ипостасями единого, названные объекты единосущны, неслиянны и в то же время нераздельны. По его мнению, ментально-лингвальный комплекс – это функционирующая на основе человеческого мозга самоорганизующаяся информационная система, которая обеспечивает восприятие, понимание, оценку, хранение, преобразование, порождение и передачу информации. В рамках ментально-лингвального комплекса мышление – прежде всего динамическая ипостась, сознание – накопительно-оценочная ипостась, а язык – ипостась инструментальная и коммуникативная [9].

Единосущность мышления, сознания и языка исчерпывающим образом объясняет, на основе чего и как они соединяются в одно. Неслиянность свидетельствует о наличии у каждого из них своих особенных свойств. Нераздельность предполагает невозможность рассматривать каждую из обсуждаемых сущностей как нечто вполне самостоятельное.

Интересна точка зрения В.А. Лекторского на взаимоотношение языка и мышления в связи с исследованием процесса познания. Он полагает, все имеющиеся знания можно разделить на коллективные и личные. Коллективными, по его мнению, являются знания которыми располагаем не только мы, но и другие люди. Подобное «совместное» владение знаниями существует благодаря тому, что средством их выражения является вербальный язык, общий для всех людей и выражающий только общее, коллективное. Личное же знание сложно выразить в

словесной форме, поскольку оно базируется на индивидуальном восприятии и существует часто в виде образов. Несмотря на это, «современная научная психология показала, что знание этого рода тоже предполагает использование языка, хотя это использование отлично от коллективного» [8].

В соответствии с рассмотренной выше концепцией язык и мышление выступают как основы единого ментально-лингвального комплекса [9]. Данные объекты характеризуются как единые, т.к. невозможно рассматривать язык и мышление отдельно друг от друга.

Ментально-лингвальным комплексом называется самоорганизующаяся информационная система, которая функционирует на основе человеческого мозга и обеспечивает восприятие, понимание, оценку, хранение, порождение и передачу информации. В рамках ментально-лингвального комплекса мышление – это динамическая ипостась, сознание – накопительно-оценочная, а язык является инструментальной и коммуникативной частью.

Мышление имеет динамическую природу, так как это постоянно протекающий в мозгу процесс мышлепорождения, который основан на обработке поступающей по разным каналам информации.

Язык является инструментом мышления, предназначенным для обеспечения импульсов, идущих в мозг от органов чувств. Отсюда главной функцией языка по отношению к мышлению является дискретизация информационного континуума на информационные отрезки разного объема и содержания.

Человеческое сознание отвечает за интериоризацию, которое имеет форму информационных сгущений окружающего мира, и самого человека как элемента этого мира, и устанавливает необходимые оценочные и ценностные ориентиры.

Различные народы мира по-разному классифицируют окружающий мир. По мнению И. Иссерс, через наблюдение и анализ языковых форм можно проникнуть в сознание народа. Классификация «встроена» в язык, что обычно для всех языков мира: живое – неживое, неопределенное – определенное, один – много. Эти представления закрепляются в языке в виде категорий и их показателей [10].

Как же происходит перевод с одного языка на другой? Известный психолингвист Н.И. Жинкин в работе «Механизмы речи» предложил гипотезу существования в сознании человека универсального предметного кода. Он исходил из того, что базовым компонентом мышления является «язык интеллекта». Код этот имеет принципиально невербальную природу и представляет собой систему знаков, сформированных в результате чувственного отражения действительности в сознании. Это «язык» схем, образов, осязательных и обонятельных впечатлений реальности. То есть универсальный предметный код – это язык, на котором происходит формирование замысла речи, «запись личностного

смысла». И движение от мысли к слову начинается с работы этого несловесного образования. Порождение высказывания во внутренней речи – это процесс перекодировки: с кода, основанного на образах и схемах, происходит переход к ходу вербальному [6].

Поскольку универсальный предметный код является интернациональным, общим для различных этносов и культур, он представляет предпосылку для понимания иноязычной речи.

Исследования Л.С. Выготского и Н.И. Жинкина являются основой теории речевой деятельности, разработанной отечественным психолингвистом А.А. Леонтьевым и его школой.

Основные методы и методология сравнительно-сопоставительного изучения языков были изложены именно В. Гумбольдтом. Его философские положения основаны на учении И. Канта. Вслед за Кантом, он рассматривает сознание как особое начало, независимое от объективно существующей материальной природы, и развивающееся по своим законам. Гумбольдт предлагает следующее определение языка: «Язык есть душа во всей ее совокупности, он развивается по законам духа» [4]. Он рассматривает язык как орудие мышления, а формой существования языка – его развитие и разделяет понятия "язык" и "речевая деятельность". «Язык есть не продукт деятельности, а деятельность» [4].

Философия В. Гумбольдта дала своеобразный импульс для творческого самоопределения и дальнейшего развития современной философии сознания, представленной именами таких современных отечественных философов, как Д.И. Дубровский, Д.В. Иванов, В.А. Лекторский, В.Г. Лысенко, В.Ф. Петренко, А.Н. Портнов, П.А. Сафронов, О.В. Соловьев, Л.В. Суркова, Е.О. Труфанова, А.В. Фролов и др., которая вечную проблему отношения (идентификации) «Я» к себе и другому ввела в новый, неожиданный ракурс исследования: начиная от изучения структур субъективной реальности сознания и заканчивая взаимоотношением «Я» с «Другим» как способом своего самопознания (самоопознания, самоузнавания) не только в личностном плане, но и в контексте диалога культур. Была поставлена проблема экзистенциальности сознания, его взаимосвязи с бытием на основе интеграции философских и собственно научных исследований (квантовой физики, информационных систем, биологии, психологии), соединяя прозорливость философии с научными открытиями.

Представители Женевской лингвистической школы во главе с известным ученым Ф. де Соссюром считали, что родной язык неотъемлем от нашего мышления и тесно связан с личной и общественной жизнью. В качестве примера они рассматривают процесс развития мышления ребенка. Ш. Балли в статье «Преподавание родного языка и формирование сознания» подчеркивает, что по глубине своего воздействия среди факторов, участвующих в формировании мышления, на первом месте стоит

язык. Следовательно, родной язык оказывает огромное влияние на конкретную форму мышления человека. Отметим, что идеи Ф. де Соссюра, Ш. Балли, А. Сеше. близки теории «лингвистической относительности». «Если мысль воздействует на язык, то и язык в меру своих закономерностей формирует мысль» [1]. В своих исследованиях они высказали идею о влиянии структуры языка на мышление говорящих на нем индивидов.

Современные ученые определяют «этничность» как совокупность культурных архетипов, как глубинные установки «коллективного бессознательного», которые практически не поддаются изменению, другими словами, как менталитет, понимаемый как совокупность символов, которые формируются в каждой культурно-исторической эпохе и закрепляются в сознании людей в процессе общения.

По мнению А. Вежбицкой, слова с особыми культуроспецифичными значениями способны отражать и передавать образ мышления о важных жизненных событиях коллектива. "Культуроспецифичные слова представляют собой понятийные орудия, отражающие прошлый опыт общества касательно действий и размышлений о различных вещах определенными способами, и они способствуют увековечиванию этих способов. По мере того как общество меняется, указанные орудия могут также постепенно видоизменяться и отбрасываться. В этом смысле инвентарь понятийных орудий общества никогда не «детерминирует» полностью его мировоззрение, но очевидным образом оказывает на него влияние" [2].

Отечественные лингвисты, И.А. Стернин и Г.В. Быкова полагают, что образ мышления может быть национально специфичным и отражаться в национальных стереотипах мышления и наличии национально-специфических понятий. Национально-культурная специфика мышления, по их мнению, производна не от языка, а от окружающей действительности, язык же только отражает различия, которые оказываются коммуникативно-релевантными для народа по разным причинам. Национально-культурная особенность нашего мышления детерминирована не национальным языком, а национальной реальностью [15]. Следовательно, этническое сознание возникает в процессе исторического развития определенной этнической общности как осознание окружающей действительности. Этническое сознание есть разновидность этнического самосознания (осознания принадлежности к определенной этнической общности).

Отметим, что идея картины мира прозрачно выступает в учении о так называемых «понятийных категориях», сформулированном датским языковедом, философом Отто Есперсеном и российским языковедом – философом, академиком И.И. Мещаниновым. Согласно этому учению, человеческое сознание, анализируя мир, вырабатывает отражающие его понятийные категории. Эти

категории передаются в одних языках одними средствами, а в других языках иными (грамматическими, лексическими) средствами. Языковые средства – это техника выражения сознания, сами же понятия – его содержание. В системе понятий, хотя и в разных культурах, выявляется некая фундаментальная общность, объединяющая разноразличные людей в род человеческий [16].

Естественный язык позволяет исследователю проникнуть в менталитет нации, хотя многие мыслительные процессы – общие для многих народов и закреплены одинаково в разных языках. Эта общность объясняется тем, что взгляд человека на мир основывается на опыте, а он примерно одинаковый у разных народов. Язык имеет материальную и идеальную сторону, а мышление – идеально. Мышление определяется законами психологии и логики, а язык – структурой конкретного языка.

**Выводы.** Таким образом, язык находится в тесных взаимоотношениях с мышлением и сознанием, поскольку он выражает не только конкретное содержание мысли (семантический уровень мышления), но и закрепляет логику мышления (логический уровень мышления). Язык представляет собой непереносимое условие осуществления абстрактного, обобщенного мышления и рациональной ступени человеческого познания. Исследователи данной проблемы признают несомненную связь между языком, сознанием и мышлением, однако по-разному понимают природу этой связи.

#### Л и т е р а т у р а

1. Балли Ш. Язык и жизнь / Ш. Балли. – М.: Наука, 2003. – 300 с.
2. Вежицкая А. Понимание культур через посредство ключевых слов / А. Вежицкая. – М.: Языки славянской культуры, 2001. – 288 с.
3. Витгенштейн Л. Культура и ценность / Л. Витгенштейн. – М.: Гнозис, 1994. – 612 с.
4. Гумбольдт В. О мышлении и речи / В. Гумбольдт. – М.: Прогресс, 1984. – 457 с.
5. Гумбольдт В. Язык и философия культуры / В. Гумбольдт. – М.: Прогресс, 1985. – 451 с.
6. Жинкин Н. И. Интеллект, язык и речь / Н. И. Жинкин. – М.: Просвещение, 1972. – С. 9-31.
7. Жинкин Н. И. Речь как проводник информации / Н. И. Жинкин. – М.: Просвещение, 1982. – 159 с.
8. Лекторский В. А. Эпистемология классическая и неклассическая / В. А. Лекторский. – М.: Высшая школа, 2013. – 346 с.
9. Морковкин В. В. Язык, мышление и сознание / В. В. Морковкин // Русский язык за рубежом. – 1994. – № 4. – С. 129-136.

10. Попова З. Д., Стернин И. А. Язык и национальная картина мира / З. Д. Попова, И. А. Стернин. – Воронеж: Наука, 2002. – 285 с.

11. Портнов А. Н. Язык и сознание: основные парадигмы исследования проблемы в философии XIX–XX вв. / А. Н. Портнов. – М.: Русский язык, 1994. – 400 с.

12. Потебня А. А. Мысль и язык / А. А. Потебня. – М.: Высшая школа, 2013. – 344 с.

13. Серебренников Б. А. Роль человеческого фактора в языке. Язык и мышление. М., 1988.

14. Серль Дж. Открывая сознание заново Дж. Серль. – М.: Наука, 2002. – 354 с.

15. Стернин И. А., Быкова Г. В. Языковое сознание: формирование и функционирование / И. А. Стернин, Г. В. Быкова. – М., 2003. – С. 55-67.

16. Философский энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – 840 с.

**Vorontsova T. Yu.**

#### THE PROBLEM OF INTERCONNECTION BETWEEN LANGUAGE, CONSCIOUSNESS AND THINKING

*The problem of the interconnection between language, consciousness and thinking as the personality's important components has been analyzed in the article. It has been emphasized that the language is in close relationship with thinking and consciousness, expresses not only the specific content of thought or the semantic level of thinking, but also consolidates the logic of thinking. It has been established that the researchers of this problem recognize the undoubted connection between language, consciousness and thinking, however, they understand the nature of this connection in different ways.*

**Keywords:** language, consciousness, thinking, self-consciousness, cultural archetype

**Воронцова Татьяна Юрьевна**, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры иностранных языков ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**E-mail:** sportvtu2@yandex.ru

**Vorontsova Tatyana Yurievna**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Foreign Languages of the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Исаев Владимир Данилович**, доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой мировой философии и теологии Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*Статья подана 21.03.2022*

УДК 681.5

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПЛАЗМЕННО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Гаврыш В.С.

## DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR AUTOMATIC CONTROL OF THE PLASMA-MECHANICAL PROCESSING PROCESS

Gavrysh V.S.

*В статье представлены результаты по разработке системы автоматического управления плазменно-механической обработки. Выявлены параметры, которые необходимо контролировать.*

**Ключевые слова:** плазменно-механическая обработка, плазматрон, нагрев, автоматизация.

**Введение.** В современном машиностроении широко используются высокопрочные материалы. Однако применение таких материалов затруднено из-за сложности обработки их резанием. К тому же резание часто приходится вести при больших сечениях среза, по высокопрочным наплавкам, по корке и т.д. Одним из эффективных способов улучшения обрабатываемости высокопрочных металлов и сплавов является плазменно-механическая обработка (ПМО). В результате плазменного нагрева снижается прочность и возрастает пластичность обрабатываемого материала, что и приводит к увеличению производительности и стойкости режущего инструмента. Анализ результатов исследований свидетельствует о высокой эффективности ПМО при точении, фрезеровании и строгании [1–3]. Однако одним из сдерживающих факторов широкого применения данного процесса в промышленности является отсутствие надежной системы автоматического управления, как плазматроном, так и самим процессом ПМО. Поэтому решение указанных проблем требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Поиски оптимальных вариантов предварительного плазменного нагрева обрабатываемой заготовки с учетом ее материала и режимов резания выявили необходимость применить проблемно-ориентированную систему как инструмент исследования [4–6]. Такая система обеспечивает автоматизацию и обработку эксперимента в плане получения информации о тепловых, электрических и эрозионных характеристиках плазматрона, расходах защитного (если это необходимо) и рабочего газов, а также эффективности плазменного нагрева. Кроме того, система обеспечивает программное управление

режимов работы плазматрона, а также выдачу необходимой информации на средства ее отображения для своевременной оценки промежуточных результатов и возможности внесения соответствующих изменений.

Система управления плазматроном (рис. 1) содержит блок управления (БУ), универсальный программируемый контроллер, выполненный на базе модернизированной ЭВМ (СМ–1810.41), датчики давления SP1–SP3 охлаждающей воды и рабочего газа (электроконтактные манометры типа ЭКМ–IV), датчики температуры SK1–SK3 воды на сливе (электроконтактные термометры типа ТКП–160СгУХЛ), электромагнитные клапаны УА–1–УА–3 подачи воды, рабочего и защитного газов (типа ЭМП–3У3). Это позволяет ей обеспечивать следующие режимы: ожидание, запуск, работа, нормальное и аварийное отключение плазматрона. Возможен ручной режим работы. Программа управления и контроля работой плазматрона осуществляется по жесткой логике «защита» в программируемом постоянном запоминающем устройстве (ППЗУ) контроллера и реализована на интегральной микросхеме (ИМС) K573РФ5 [7].

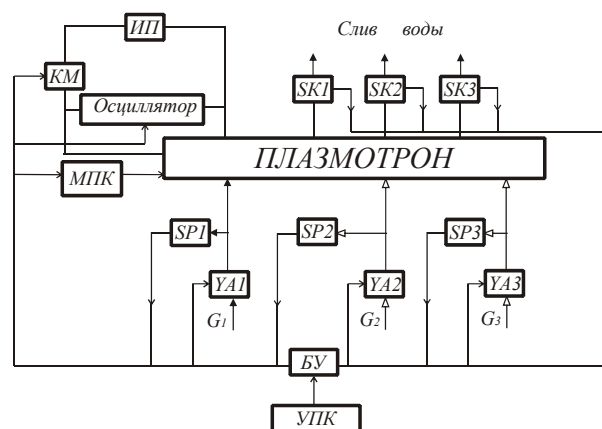


Рис. 1. Функциональная схема системы программного управления плазматроном

Для обеспечения программно-управляющего обмена между контроллером и плазматроном

служит программируемый параллельный адаптер (ППА) контролера. Программа, составленная в кодах микропроцессора K580, установлена в ПЗУ контроллера и при необходимости может быть изменена перепрограммированием ИМС.

В исходном состоянии на БУ, УПК и источник питания (ИП) плазмотрона подано напряжение. Система находится в режиме ожидания. При запуске из ППЗУ контроллера производится последовательная выборка управляющих слоев (УС), передаваемых через порт вывода, с помощью которых через разрядные токовые ключи с выдержкой времени реализуется такая последовательность операций:

- открытие электромагнитного клапана УА1 охлаждающей воды  $G_1$ ;
- открытие электромагнитных клапанов УА2 и УА3 соответственно рабочего  $G_2$  и защитного  $G_3$  (при необходимости) газов;
- кратковременное включение осциллятора для поджига дуги в плазмотроне.

Выдержки времени между срабатываниями позиций зависят от количества обращений к подпрограмме, обеспечивающей при однократном обращении временной интервал 1 с. По каждой из перечисленных позиций с помощью датчиков давления, температуры охлаждающей воды, а также контактора формируются ответные УС, которые через порт ввода поступают в контроллер и сравниваясь с выданными УС разрешают или запрещают запуск плазмотрона в установленной последовательности.

В случаях отклонения контролируемых параметров от величин уставок, а также исчезновение питающего напряжения поступает команда на отключение плазмотрона в последовательности, обратной запуску. При аварийном режиме отключаются все позиции. Применение в качестве контроллера ЭВМ позволяет не только контролировать, но и управлять работой плазмотрона по заданному алгоритму в соответствии с конкретными технологическими параметрами. Для ввода информации в систему используется клавиатура дисплея, а вывод ее пользователю может осуществляться на дисплей и на печать. Операционная система рассчитана на одного пользователя и предназначена для решения задач в реальном масштабе времени, а также разработки программ в интерактивном режиме.

Использование информационно-управляющего вычислительного комплекса позволило нам частично решить задачи автоматизированного проектирования плазмотронов с применением системы трехмерного твердотельного параметрического проектирования Компас-3D не только для нагрева заготовок при ПМО, но для целого ряда других технологических процессов. При этом САПР плазмотронов включала в себя следующие основные пакеты программ:

- выбора и расчета системы охлаждения узлов и деталей;
- расчета ресурса работы электродов;
- расчета и выбора источника питания;
- расчета расхода рабочего и защитного газа и температуры плазменной струи или плазменной дуги;
- расчета систем управления режимами работы плазмотронов с учетом технологического процесса.

В настоящее время данный комплекс находится в стадии опытного внедрения.

Также необходимо было решить проблему обработки точением труднообрабатываемых сталей и сплавов существующими инструментальными материалами. Анализ исследований по обработке высокопрочных сталей и сплавов, а также целого ряда работ [1–3] показывает, что режущий инструмент при этом подвергается абразивному, адгезионному, диффузионному, химическому, окислительному и другим видам износа, зависящим от условий резания. При этом большинство указанных факторов, влияющих на интенсивность износа инструмента, являются функцией температуры. Исходя из этого, А.Д. Макаровым [8] было сформулировано положение постоянства оптимальной температуры резания. Оптимальным скоростям резания (для заданного материала режущей части инструмента) при различных комбинациях скорости резания, подачи и глубины резания соответствует постоянная температура в зоне резания. Из этого факта можно сделать вывод, что для достижения наибольшей стойкости инструмента необходимо поддерживать среднюю температуру в зоне резания на оптимальном уровне (рис. 2).

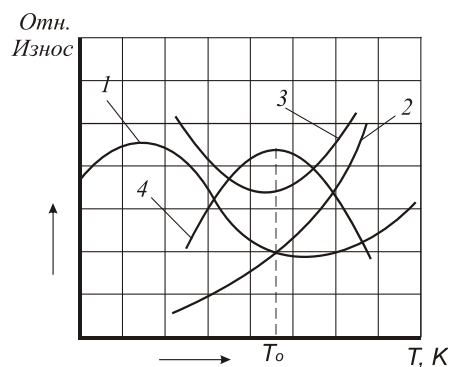


Рис. 2. Зависимость износа инструмента от температуры резания:

- 1 — интенсивность адгезионного износа;
- 2 — интенсивность диффузионного износа;
- 3 — суммарный износ; 4 — стойкость инструмента

С этой целью разработано много систем адаптивного управления станками металлообработки без предварительного подогрева, автоматически поддерживающих температуру в зоне резания на заданном уровне и подтверждающих факт существования оптимальных

температур резания. В качестве параметра регулирования чаще всего выбиралась скорость обработки. Однако наилучшее качество управления показала система, изменяющая скорость вращения детали при связанных приводах, т.е. когда подача на оборот изделия остается постоянной независимо от числа оборотов детали. Таким образом, регулирование усилий резания при резании без подогрева осуществляется автоматическим изменением подачи режущего инструмента, а регулирование температур в зоне резания – скоростью резания.

При резании с нагревом срезаемого слоя появляется еще один параметр, с помощью которого можно регулировать как усилия, так и температуру резания – это температура предварительного нагрева. Необходимо отметить, что основными характеристиками плазменного источника нагрева являются его мощность, эффективный КПД, а также характер распределения теплового потока по пятну нагрева. Поэтому, дополняя информационно-управляющий комплекс энергетическими параметрами плазматрона предлагается к осуществлению следующая структурная схема автоматического управления процессом ПМО (рис. 3).

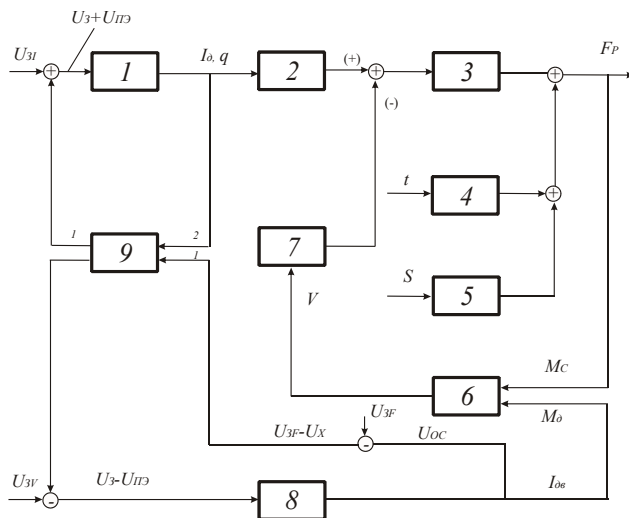


Рис. 3. Структурная схема автоматического управления процессом ПМО

На которой управляющий комплекс плазматроном (УКП), изображен блоком 1. Выходным параметром его является тепло ( $q$ ), получаемое изделием в единицу времени в блоке 2 и связывающее его с температурой предварительного подогрева непосредственно перед режущим инструментом. Передаточная функция этих звеньев выражается формулой

$$W = \frac{T(p)}{q(p)} = K \cdot e^{-\tau \cdot p}, \quad (1)$$

где

$$K = \frac{1}{2\pi\lambda V \sqrt{\frac{L}{V} \cdot \left(\frac{d^2}{16a} + \frac{L}{V}\right)}} \cdot \exp\left(-\frac{Z^2 V}{4aL} - \frac{Y^2}{\frac{d^2}{4} + \frac{4aL}{V}}\right),$$

$e^{-\tau \cdot p}$  – величина запаздывания системы автоматического регулирования на время  $\tau = L/V$ ,

т.е. время изменения температуры изделия, вызванное изменением теплового потока,  $P$  – оператор Лапласа,  $V$  – скорость обработки,  $L$  – расстояние от сопла плазматрона до детали,  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $d$  – диаметр сопла плазматрона.

Сигнал с выхода блока 2 суммируется (алгебраически) с выходом блока 7, связывающим температуру предварительного подогрева со скоростью обработки. Предварительная функция этого звена выражается формулой

$$W = \frac{T(p)}{\Delta V(p)} = -K_1 \cdot e^{-\tau \cdot p}, \quad (2)$$

где  $K_1 = \frac{q}{V_H^2} \cdot K_2$ ,

$$K_2 = \frac{1}{2\pi\lambda \sqrt{\frac{L}{V} \cdot \left(\frac{d^2}{16a} + \frac{L}{V}\right)}} \cdot \exp\left(-\frac{Z^2 V}{4aL} - \frac{Y^2}{\frac{d^2}{4} + \frac{4aL}{V}}\right).$$

Блок 3 связывает усилия резания с температурой предварительного подогрева

$$W_T = \frac{\Delta F(p)}{\Delta T(p)} = K_T, \quad (3)$$

где  $K_T = -Z \cdot C \cdot S^x \cdot t^y \cdot T_H^{-Z-1}$ ,  $c, x, y$  – постоянные, определяемые опытным путем.

Возмущающими параметрами системы являются глубина резания (блок 4) и подача (блок 5). Выражение для передаточных функций этих звеньев имеет вид

$$W_T = \frac{\Delta F(p)}{\Delta t} = \frac{K_T}{T_t p + 1}, \quad (4)$$

где  $K_T = Y \cdot C \cdot S^x \cdot t^{y-1} \cdot T^t$ .

$$W_S = \frac{K_S}{T_S(p) + 1}, \quad (5)$$

где  $K_S = X \cdot C \cdot S^{x-1} \cdot t^y \cdot T^{-Z}$ .

В (4) и (5) учтено, что сила резания отстает по фазе от изменения толщины срезаемого слоя и зависимость усилий резания выражается аperiодическим звеном с постоянными времени  $T_t$  и  $T_S$ .

Усилия резания  $F_p$  создают на валу планшайбы станка момент сопротивления  $M_c$ , который через редуктор станка окажет влияние на силу тока главного привода. Блок 6 выражает связь между разностью момента сопротивления и момента на валу двигателя  $M_d$  и скоростью вращения планшайбы. Источник питания двигателя главного привода изображен блоком 8.

Перед началом обработки задается начальный ток плазменной дуги (плазмотрона)  $U_{zl}$ , глубина резания  $t$ , подача  $S$ , усилия резания  $U_{zf}$ , скорость обработки  $V_z$ , максимально допустимый ток плазменной дуги  $I_{dmax}$ . Если в процессе обработки усилия резания равны заданным ( $F_p = F_{pz}$ ), то сигнал задания  $F_{pz}$  будет равен сигналу датчика тока двигателя и на первый вход порогового элемента (ПЭ) блока 9 сигнал поступать не будет. В этом случае сигналы на обоих выходах блока 8 также будут отсутствовать. Ток плазменной дуги и скорость обработки будут равны заданным. При возрастании усилий резания возрастает ток двигателя главного привода  $I_{dv}$  и сигнал обратной связи ( $U_{oc}$ ) превысит сигнал задания усилий резания и на первом выходе ПЭ появится напряжение, которое складываясь  $U_{zl}$  увеличит ток плазмотрона с таким условием, чтобы усилия резания опять стали равными заданным. При этом может возникнуть такая ситуация когда сила тока плазмотрона достигнет своего предельного значения, а усилия резания еще превышают заданные. Тогда сигнал с выхода 1 блока 9 перестанет возрастать, но зато появится сигнал на 2-ом выходе этого блока, который вычитается из сигнала задания скорости обработки, вследствие чего последняя уменьшается, что приведет к увеличению температуры подогрева и, как следствие к снижению усилий резания.

Таким образом, с помощью изменения тока плазменной дуги и скорости обработки система управления будет поддерживать усилия резания на заданном уровне при ПМО.

**Выводы:** Решен комплекс актуальных задач, связанных с повышением эффективности процесса плазменно-механической обработки.

Разработана система автоматического управления плазменно-механической обработки, управляющая энергетическими параметрами плазмотрона и автоматически регулирующая температуру предварительного нагрева обрабатываемой заготовки с учетом усилий и температуры резания.

Таким образом, разработанную систему и полученные результаты можно рекомендовать для использования в промышленных условиях.

## Л и т е р а т у р а

1. Обработка металлов резанием с плазменным нагревом / Н.А. Резников, М.А. Шатерин, В.С. Кунин, Л.А. Резников / Под общ. ред. Н.А. Резникова. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.
2. Гаврыш В.С., Бранспиз Е.В. Плазменно-механическая обработка заготовок из труднообрабатываемых материалов // Вестник ЛНУ им. В.Даля. 2020. – №3(33), – С. 83-88.
3. Гаврыш В.С., Корсунов К.А., Хаустова А.В. Плазменно-механическая обработка деталей наплавленных сормайтотом // Технологии XXI века: Сб. науч. статей по материалам XIII Междунар. научно-методич. конф. / Под ред. д.т.н., проф. Захарова Н.В. – Сумы: СНАУ, 2006. – С. 69–70.
4. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. – М.: Машиностроение, 1977. – 304 с.
5. Дзюба В.Л., Сергиенко С.Н., Данчук П.А. Управляемый комплекс для плазменной обработки и напыления дисперсных материалов // Газотермическое напыление в промышленности ГНТП-91. – Л.: Полиплазма, 1991. – С. 49–50.
6. Информационно-управляющий вычислительный комплекс плазмотронами для доменного дутья / В.Л. Дзюба, П.А. Данчук, А.Г. Михайловский, С.Н. Сергиенко // Тез. докл. XI Всесоюз. конф. по генераторам низкотемпературной плазмы. – Новосибирск, 1989. – С. 225–226.
7. Каган Б.М. Сташин В.В. Основы проектирования микропроцессорных систем устройств автоматики. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 302 с.
8. Макаров А.Д. Оптимизация процесса резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.

Gavrysh V.S.

## DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR AUTOMATIC CONTROL OF THE PLASMA-MECHANICAL PROCESSING PROCESS

*The article presents the results of the development of an automatic control system for plasma-mechanical processing. The parameters that need to be controlled have been identified.*

**Keywords:** plasma-mechanical processing, plasma torch, heating, automation.

**Гаврыш Владимир Сергеевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Легкая и пищевая промышленность» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

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

**Gavrysh Vladimir Sergeevich**, PhD, associate professor, associate professor of «Light and food industry» department, SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич**, доктор технических наук, профессор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 37.032

## СОЗДАНИЕ ВОСПИТЫВАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ВЫСШЕМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ

Кузь Е.В.

## EDUCATIONAL ENVIRONMENT CREATION IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION

Kuz E.V.

*В статье рассматривается проблема создания полноценной психолого-педагогической воспитывающей среды в качестве наиболее важной задачи высшего учебного заведения. В статье отражены различные подходы, исследующие воспитательное пространство как часть воспитывающей среды, как существенный фактор личностного развития студента. Автором определены условия эффективного функционирования различных моделей воспитательного пространства, выделены его основные компоненты.*

**Ключевые слова:** *воспитывающая среда, воспитательное пространство, социально-педагогическая деятельность, педагогическое событие, воспитательный процесс, диагностика среды, моделирование воспитательного пространства, развитие личности.*

Рассматривая образование как социальное явление, можно заметить его ориентацию на формирование личности и выполнение важнейших функций профессионализации и социализации человека, поэтому для высшего учебного заведения наиболее важной становится задача создания полноценной психолого-педагогической воспитывающей среды. Образование по своей сути должно не только давать знания, но и изменять отношение человека к окружающей его социокультурной среде, должно обеспечивать пригодность и высокую степень адаптации молодых людей к деятельности в меняющихся условиях труда, производства и социума [1, с.82].

Педагогически целесообразно организованная среда, которая окружает конкретного воспитанника, является важным воспитательным фактором [5]. Среда – это природно-социальная данность, а не результат социально-педагогической деятельности, тогда как воспитательное пространство – результат деятельности творческого и интеграционного характера. Чтобы воспитательное пространство стало существенным фактором личностного развития, надо определить его основные компоненты и то, что их должно связывать, а также включить в моделируемые связи деятельность студентов, исключив стихийное влияние на них отдельных компонентов. Словом, среду надо уметь использовать в воспитательных целях,

воспитательное пространство уметь создавать [6, с.48].

Структурной единицей данного пространства является профессиональный коллектив образовательного, культурного, медицинского учреждения, а основным механизмом создания этого пространства становится взаимодействие коллективов, руководствующихся едиными педагогическими задачами, принципами и подходами к воспитанию.

Воспитательное пространство рассматривается и как часть среды, в которой господствует определенный педагогически сформированный образ жизни [4]. Взаимодействие всех участников в этом случае определяется моделью образа жизни студента. Механизм создания воспитательного пространства при этом аналогичный приведенному выше.

Согласно третьему подходу воспитательное пространство исследуется как динамическая сеть взаимосвязанных педагогических событий, создаваемая усилиями социальных субъектов разного уровня: коллективных и индивидуальных. Коллективными субъектами выступают учебное заведение и театр, лечебное учреждение и библиотека, система дополнительного образования как профессиональные общности, которые занимаются воспитанием, но не как учреждения [3]. Индивидуальными субъектами в таком случае будут педагоги, родители, врачи, юристы, самые разные люди, встреча с которыми может превратиться в событие. В этом случае механизмом создания воспитательного пространства становится «событие», в котором главным технологичным моментом служит совместная деятельность.

В психолого-педагогической литературе понятия «событие» трактуется через «психическое отражение человеком времени, скорости, продолжительности, зависимых от числа и интенсивности событий-изменений, происходящих в жизни, во внешней среде (природной и социальной), во внутреннем мире человека (мыслях и чувствах), в его действиях и поступках» [8].

Реализация событийного подхода в педагогике предполагает наличие в жизни человека ярких, эмоционально насыщенных, незабываемых дел, которые являются весомыми и привлекательными как для коллектива, так и для личности. Эти дела становятся своеобразными вехами воспитательного процесса.

Согласно другой трактовке событие воспринимается как способ совместного бытия, совместного проживания, когда происходит целе- и целостно ориентированная, развивающая встреча педагога и воспитанника. Для воспитания данный подход важен потому, что он позволяет включить в совместную деятельность педагога и его воспитанника на основе диалога, в результате которого достигается общая цель, устанавливается равноправие их отношений, возникает готовность взаимообогащения, и сближает участников диалога для решения задач совместной деятельности.

Приведенные выше определения, безусловно, дополняют друг друга. Воспитательное пространство будет безжизненным, если не состоится взаимодействие различных профессиональных сообществ по его организации и созданию на основе «события».

При моделировании воспитательного пространства особое значение имеют диагностика среды, учет ее потенциалов (позитивных и негативных), изучение потребностей и мотивов участников (вуза, учреждения дополнительного образования, центры психологической помощи — коллективные; учащиеся, родители, педагоги — индивидуальные), а также изучение неформальных объединений, которые находятся в данном окружении.

Воспитательное пространство может возникнуть по инициативе «сверху» (управление образованием), а возможно и «снизу» по инициативе молодых людей, заинтересованных в освоении и присвоении жизненного пространства на основе их личностных потребностей. В этом процессе могут принимать участие разные социальные институты.

Главными субъектами современного воспитательного пространства нужно считать молодежные общественные объединения. Педагогам принадлежит, вне всякого сомнения, приоритетная роль, но при условии, если они взаимодействуют с другими участниками этого процесса. Позиция педагога — вовлечение самих воспитанников в процесс создания и укрепления педагогического пространства.

Для эффективного функционирования различных моделей воспитательного пространства важные следующие условия: наличие цели, разделяемой всеми участниками процесса его создания; единая педагогическая концепция, ориентированная на гуманистические ценности; «мягкая» структура пространства, его событийность, диалоговый режим создания;

разветвленная система отношений между различными субъектами.

Возможности воспитательного пространства для развития и формирования личности студентов обеспечивают субъектность позиции каждого: свобода принятия решения о его вхождении в воспитательное пространство; свобода выбора деятельности, обеспечившей ему успех; построение диалоговых отношений с людьми различных возрастов и социальных групп; более разноплановое исполнение различных ролей; выбор различных коллективов, общностей и возможность их смены и так далее.

Предоставляя возможности выбора, воспитательное пространство содействует самореализации студента. Как субъект этого пространства он сам его структурирует и, таким образом, имеет возможность самореализоваться в нем. Чем многообразнее его связи с различными субъектами, чем благожелательнее отношения с ними, тем проще осуществляется вхождение молодого человека в мир общения и деятельности [6, с. 51].

#### Л и т е р а т у р а

1. Галиуллина С.Д. Социальная психолого-педагогическая воспитывающая среда в вузе / С.Д. Галиуллина // Внеучебная деятельность в вузе: проблемы, перспективы: материалы Всероссийской научно-практической конференции / редкол.: Шарипова Р.Р. и др.: в 2 ч. — Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. — С.82.
2. Глазенко С.Г., Качаева Т.М. Некоторые аспекты и принципы процесса воспитания студентов в вузе / С.Г. Глазенко, Т.М. Качаева // Формирование личности молодого человека в школе и ВУЗе. Сб. статей. — Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 2001. — С.145-148.
3. Григорьев Д.В. Воспитательная система школы: от А до Я. Книга для учителя / Д.В. Григорьев, И.В. Кулешова, П.В. Степанов. — М.: Просвещение, 2006. — 207 с.
4. Мануйлов Ю.С. Концептуальные основы среднего подхода в воспитании / Ю.С. Мануйлов // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А.Некрасова. — 2008г. — Т.14., Серия: «Педагогика. Психология. Социальная работа. Ювенология. Социокинетика», — № 1. — С.21-27.
5. Новикова Л.И. Педагогика воспитания: Избранные педагогические труды / под ред. Н.Л.Селивановой, А.В.Мудрика, сост.Е.И.Соколова. — М., 2009. — 351 с.
6. Чупрасова В.И. Влияние воспитания на формирование и развитие личности учащихся в процессе социализации / В.И. Чупрасова // Формирование личности молодого человека в школе и ВУЗе. Сб. статей. — Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 2001. — С.40-52.
7. Ясвин В.А. Образовательная среда: от моделирования к проектированию / В.А. Ясвин. — М.: Смысл, 2001. — 368 с.
8. Якушкина М.С. Образовательная среда и образовательное пространство как понятия современной педагогической науки / М.С. Якушкина // Академический вестник Института педагогического образования и

образования взрослых РАО «Человек и образование». – 2013. – № 2(35). – С.66-69.

**Kuz E. V.**  
**EDUCATIONAL ENVIRONMENT CREATION IN  
HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION**

*The article deals with the problem of creating a full-fledged psychological and pedagogical educational environment as the most important task of a higher educational institution. Various approaches that explore the educational space as part of the educational environment, as an essential factor in the student's personal development were reflected in the article. The author defined the conditions for the effective functioning of educational space various models, highlighted its main components.*

**Key words:** educational environment, educational space, socio-pedagogical activity, pedagogical event, educational process, environment diagnostics, educational space modeling, personality development.

**Кузь Екатерина Владимировна**, старший преподаватель кафедры иностранных языков ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** k.ekaterina@mail.ru

**Kuz Ekaterina**, Senior lecturer of the Department of Foreign Languages, SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Рецензент: Белых Александр Сергеевич**, доктор педагогических наук, профессор кафедры педагогики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный педагогический университет».

*Статья подана 15.03.2022*

УДК 519.67

**КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЯМОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ СИСТЕМ  
ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ С ПЛОТНО ЗАПОЛНЕННЫМИ  
МАТРИЦАМИ БОЛЬШОГО ПОРЯДКА В ЗАДАЧАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ  
ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ**

Остапушенко Д.Л.

**COMPUTER IMPLEMENTATION OF A DIRECT METHOD FOR SOLVING  
SYSTEMS OF LINEAR ALGEBRAIC EQUATIONS WITH DENSE HIGH-ORDER  
MATRICES IN PROBLEMS OF COMPUTATIONAL ELECTRODYNAMICS**

Ostapushchenko D.L.

*Рассмотрено программное обеспечение, разработанное автором и предназначенное для решения систем линейных алгебраических уравнений с вещественными несимметричными плотно заполненными матрицами большого порядка на компьютерах с универсальной архитектурой.*

**Ключевые слова:** линейные алгебраические уравнения, плотно заполненная матрица, оперативная память, прямой метод, число обусловленности.

**Введение.** Процедура решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) является неотъемлемым этапом решения многих задач математического моделирования. При использовании вариационно-разностных или конечно-разностных методов возникают СЛАУ большого порядка, имеющие разреженную структуру. Для решения таких СЛАУ разработано большое число методов [1, 2], позволяющих использовать наличие у матрицы специальной структуры для получения выигрыша в скорости и точности вычислений. Однако при решении некоторых задач возникает необходимость решать СЛАУ с плотно заполненными матрицами (ПЗМ) большого порядка. Так, например, при моделировании взаимодействия ферромагнитных тел с магнитными полями постоянных токов часто необходимо иметь возможность определения напряженности магнитного поля в неограниченных расчетных областях. При этом наиболее удобным представляется использование метода граничных интегральных уравнений, записанных относительно плотности простого или двойного слоя фиктивных магнитных зарядов, расположенных на границах раздела сред с различными магнитными свойствами [3]. При численном решении таких интегральных уравнений возникают СЛАУ большого порядка с несимметричной ПЗМ. Матрица с такими же свойствами возникает и при линеаризации систем нелинейных уравнений метода пространственных интегральных уравнений – метода расчета магнитостатического поля, позволяющего учесть

нелинейные магнитные характеристики вещества [4]. О несомненной важности исследуемого вопроса свидетельствует, например, работа [5], где большое внимание уделяется рассмотрению свойств матриц СЛАУ, полученных при дискретизации уравнений теории поля различными методами анализа, а также способам их решения. Причем случай, изучаемый в данной статье, представлен далеко не так полно, как остальные, что предопределяет необходимость его дальнейшей более детальной проработки.

Решение СЛАУ с ПЗМ большого порядка представляет собой нетривиальную задачу, требующую для своего решения привлечения специальных средств. Одна из существенных трудностей, которая возникает при ее решении, связана с тем, что матрицу таких СЛАУ невозможно целиком разместить в оперативной памяти компьютера. В [6] указывается на необходимость использования в этом случае памяти второй ступени (жесткого диска и т.п.) и блочных методов. Применение итерационных методов [7, 8, 9], не предъявляющих существенных требований к объему доступной оперативной памяти, ограничено из-за наличия довольно жестких условий сходимости, проверка которых часто представляет собой довольно трудную задачу. И даже если эти условия выполняются, число итераций, необходимое для решения СЛАУ, может оказаться недопустимо большим. Это же относится и к их блочным модификациям. Таких недостатков лишены прямые методы, но их программная реализация затруднена тем, что для осуществления процесса решения необходимо организовать обмен информации с жестким диском так, чтобы он гармонично сочетался с используемым для решения алгоритмом. Блочные модификации методов Гаусса и Жордана-Гаусса, описанные в [3, 10], сложны для программной реализации, так как остается неясным способ хранения блоков. Выбор элементов матрицы, принадлежащих блоку, когда элементы матрицы расположены в одном файле, приводит к большому

числу операций перемещения указателя позиции файла. Хранение блоков матрицы в различных файлах приводит к трудностям на этапе ее формирования, а также при переносе информации с одного компьютера на другой, так как размер блоков выбирается исходя из объема доступной оперативной памяти на каждом конкретном компьютере. Рациональное построение схемы обмена информацией представляет собой важную задачу, качество решения которой может значительно повлиять на характеристики разрабатываемого программного обеспечения. Так информация, предназначенная для одновременного использования, в файлах должна быть расположена таким образом, чтобы она могла быть считана за одно обращение к жесткому диску. Это позволяет избежать многократного использования операций перемещения указателя позиции файла, что может значительно сократить затрачиваемое время.

В настоящий момент возрастающей популярностью пользуются проекционные методы. Методы, основанные на проецировании на подпространства Крылова (GMRES, FOM и др.) [9, 11, 12, 13], ориентированы в основном на решение СЛАУ с разреженной матрицей, где разреженная структура позволяет значительно экономить время при многократном умножении вектора на матрицу на этапе построения подпространств Крылова. Применение этих методов к СЛАУ с плотно заполненной матрицей не дает требуемой эффективности из-за большого объема вычислительных затрат. Семейство ABS-алгоритмов, также относящихся к проективным методам, включает в себя итерационные методы, в точной арифметике сходящиеся за конечное число итераций. Подробное их теоретическое описание можно найти в [14], однако источник не содержит подробностей программной реализации описанных подходов. В [9] приводятся сведения о подходах разработанных Абрамовым применительно к СЛАУ с ПЗМ, но достаточной информации о них в работе не содержится.

На данный момент отсутствует единое мнение относительно порядков СЛАУ, для решения которых допускается использование прямых методов. Так в [15, 16, 17] указывается на то, что прямые методы становятся трудно реализуемыми и не рекомендуются к использованию уже тогда, когда порядок СЛАУ превышает 100-200, из-за значительного накопления вычислительных погрешностей. Авторы работы [18] не рекомендуют применять прямые методы для СЛАУ, порядок которых превышает 1000, объясняя это возрастанием общего числа операций, и чувствительностью получаемого результата к погрешностям округления. Более оптимистического мнения придерживаются авторы работ [19, 20], указывая на возможность использования прямых методов для решения СЛАУ порядок которых может достигать  $10^4$ . Наблюдающиеся тенденции

роста разрядности процессоров, объема оперативной памяти, скорости выполнения арифметических операций, совершенствования интерфейсов обмена информацией с внешними носителями позволяют расширить границы применимости прямых методов.

Сложившимся считается мнение о том, что алгоритмы решения наиболее распространенных задач линейной алгебры в настоящий момент достаточно хорошо разработаны, и лучшие их программные реализации уже включены во многие математические библиотеки такие как, например, LAPACK и LINPACK [21], IMSL [22] и т.п. Пользователю достаточно подключить их и применить стандартную функцию из предлагаемого набора. Анализ литературных источников по данному вопросу показал, что процедуры решения СЛАУ с ПЗМ большого порядка, обеспечивающие работу с данными на внешнем носителе, не только отсутствуют в классических математических пакетах и библиотеках, но даже не представлены достаточным описанием возможных подходов, необходимых для их самостоятельной реализации. Целью данной статьи является описание разработанного программного обеспечения, предназначенного для решения СЛАУ с квадратной невырожденной вещественной ПЗМ большого порядка, элементы которой располагаются на жестком диске, при этом не предполагается наличия у компьютера специальной архитектуры.

**Основной материал.** Пусть необходимо решить СЛАУ вида

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{X} = \mathbf{B},$$

где  $\mathbf{A}$  – матрица СЛАУ размером  $n \times n$ ;  $\mathbf{B}$  – матрица свободных членов размером  $n \times 1$ ;  $\mathbf{X}$  – неизвестная матрица размером  $n \times 1$ . В рамках предлагаемого подхода матрицы  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{B}$  перед началом выполнения программы должны быть сформированы на жестком диске в виде бинарных файлов FileA1 и FileB1 соответственно, причем элементы матриц в файлах должны быть записаны построчно. Решение СЛАУ включает в себя два этапа: прямой и обратный ход. Целью прямого хода является приведение матрицы СЛАУ к треугольному виду, обратного – решение полученной таким образом СЛАУ с треугольной матрицей.

Для выполнения прямого хода (см. рис. 1) в оперативную память из файла FileA1 считываются  $m$  первых строк матрицы  $\mathbf{A}$ , а из файла FileB1 –  $m$  первых строк матрицы  $\mathbf{B}$ , при этом число  $m$  выбирается исходя из объема доступной оперативной памяти, для определения которого можно воспользоваться, например, системным монитором. Используя преобразования Гаусса, приводим находящуюся в оперативной памяти часть матрицы  $\mathbf{A}$  к трапецевидной форме. Наиболее подходящей для этих целей с точки зрения вычислительной устойчивости схемой

преобразования Гаусса является схема единственного деления с выбором главного элемента в столбце [8]. В результате применения преобразований Гаусса, осуществляемого по такой схеме, элементы, находящиеся на главной диагонали, обращаются в единицу, что облегчает дальнейшие вычисления. Соответствующие преобразования производятся и с элементами матрицы **B**. Для данных целей также можно использовать вращения Гивенса или отражения Хаусхолдера [23, 24, 25]. Преобразованные части матриц записываются на жесткий диск в виде файлов FileAtr и FileBtr соответственно. При этом элементы матриц записываются построчно, причем строка матрицы **A** записывается начиная с диагонального элемента. Иными словами в файл записываются только элементы трапецевидной части матрицы **A**

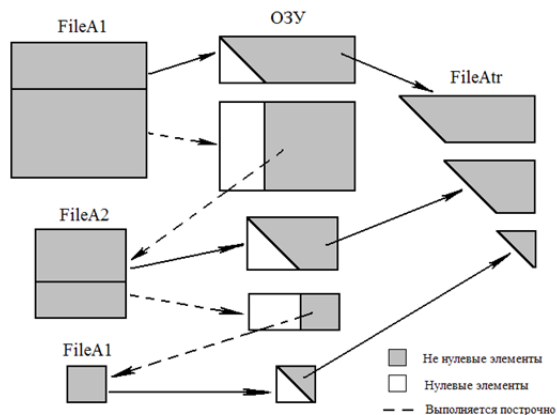


Рис. 1. Прямой ход решения СЛАУ с ПЗМ

Затем в оперативную память из файлов FileA1 и FileB1 последовательно считываются оставшиеся  $(n-m)$  строк матриц **A** и **B**. Применяя преобразования Гаусса, в каждой считанной строке первые  $m$  элементов обращаются в нуль. Таким образом, на каждом этапе преобразования из элементов строки вычитаются соответствующие элементы строк трапецевидной части матрицы, находящиеся в оперативной памяти. Здесь также является возможным использование вращений Гивенса. Оставшиеся  $(n-m)$  элементов каждой строки матрицы **A** записываются в бинарный файл FileA2, а соответствующие строки матрицы **B** – в бинарный файл FileB2. В итоге файл FileA2 содержит элементы квадратной матрицы порядка  $(n-m)$ , а файл FileB2 элементы матрицы размера  $(n-m) \times k$ .

Далее приведенную процедуру необходимо повторить. На этот раз в качестве исходных следует взять файлы FileA2 и FileB2. Полученную в результате трапецевидную часть матрицы **A** необходимо дописать в конец файла FileAtr, а соответствующие строки матрицы **B** в файл FileBtr. При каждом таком повторении размеры матриц уменьшаются, и на последнем шаге матрицы могут

быть размещены в памяти целиком. Алгоритм удобно реализуется с использованием рекурсии. При каждом рекурсивном вызове файлы FileA1 и FileA2, также как и файлы FileB1 и FileB2, меняются ролями. В результате файл FileAtr будет содержать элементы треугольной матрицы – результат преобразования матрицы **A**, а файл FileBtr – элементы соответствующим образом преобразованной матрицы **B**. Для наглядности представления на рис. 1 отображен процесс преобразования только матрицы **A**.

Для выполнения обратного хода в оперативную память из файла FileAtr считывается нижний треугольный блок матрицы **A** (см. рис. 2.a), а из файла FileBtr – нижний прямоугольный блок матрицы **B** (см. рис. 2.b). Путем последовательных подстановок определяются элементы нижнего прямоугольного блока матрицы неизвестных **X**. Для экономии оперативной памяти элементы блока матрицы **X** размещаются поверх элементов блока матрицы **B**. Сформированный блок записывается в файл FileXr (см. рис. 2.g). Кроме последовательной подстановки для нахождения неизвестных можно воспользоваться иным методом решения треугольной системы, например, приведением треугольного блока матрицы к диагональной или верхней Хессенберговой форме [23, 24]. Теперь память, выделенная под треугольный блок, может быть освобождена. Затем осуществляется подстановка найденных неизвестных в СЛАУ. Для этого оставшиеся строки матриц **A** и **B** из файлов FileAtr и FileBtr последовательно считываются в оперативную память (см. рис. 2.c,d), где с ними проводятся преобразования. После подстановки неизвестных верхняя трапецевидная часть матрицы **A** превращается в треугольную, которая записывается в файл FileAtr1 (см. рис. 2.e), а верхняя прямоугольная часть матрицы **B** записывается в файл FileBtr1 (см. рис. 2.f).

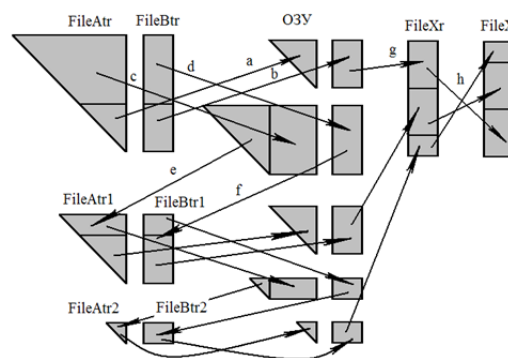


Рис. 2. Обратный ход решения СЛАУ с ПЗМ

Описанная процедура повторяется необходимое число раз. При реализации обратного хода также удобно использовать рекурсию. В результате файл FileXr содержит блоки матрицы **X**, записанные в обратном порядке. Поэтому для

получения окончательного результата содержимое файла FileXr поблочно с изменением порядка переписывается в файл FileX (см. рис.2.h).

В случае необходимости можно применить процедуру итерационного уточнения [6]. Для этого сначала по формуле

$$\mathbf{R}_n = \mathbf{B} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{X}_{n-1}$$

необходимо вычислить невязку, при ее вычислении все арифметические операции должны производиться с двойной точностью. Здесь на первом шаге  $\mathbf{X}_0$  это решение уравнения  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{X} = \mathbf{B}$ , полученное в результате применения описанной выше процедуры. Путем решения уравнения

$$\mathbf{A} \cdot \Delta \mathbf{X}_n = \mathbf{R}_n$$

вычисляется матрица поправок  $\Delta \mathbf{X}_n$ , которая затем прибавляется к матрице решений

$$\mathbf{X}_n = \mathbf{X}_{n-1} + \Delta \mathbf{X}_n.$$

Процедура итерационного уточнения является трудоемкой, т.к. требует повторных решений СЛАУ, но иногда является единственным механизмом, позволяющим повысить точность найденного решения. Итерационный процесс останавливается тогда, когда будет достигнуто выполнение условия  $\|\Delta \mathbf{X}_n\| < \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  – положительное число, много меньшее чем  $\|\mathbf{X}\|$ .

Важным моментом при решении СЛАУ является контроль точности результатов. Для этих целей в предлагаемом программном обеспечении предусмотрен ряд мероприятий, таких как: вычисление и контроль нормы невязки; решение СЛАУ с несколькими дополнительными столбцами в матрице  $\mathbf{B}$ , которые выбраны таким образом, чтобы соответствующие столбцы матрицы  $\mathbf{X}$  были известны заранее, и точность их нахождения в результате решения СЛАУ можно было проконтролировать, это можно осуществить путем непосредственной подстановки; оценка числа обусловленности.

Малая норма невязки служит слабым критерием правильности найденного решения [26] и может предостеречь лишь от грубых ошибок в вычислительном процессе. Число обусловленности является важной характеристикой матрицы, имеющей большое значение при контроле точности вычислений. Согласно определению число обусловленности квадратной матрицы

$$\text{cond}(\mathbf{A}) = \|\mathbf{A}\| \|\mathbf{A}^{-1}\|.$$

Для нахождения числа обусловленности необходимо вычислять норму матрицы, наиболее удобными для непосредственного вычисления матричными нормами являются 1- и  $\infty$ -нормы [8], вычисляемые соответственно по формулам

$$\|\mathbf{A}\|_1 = \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^m |a_{ij}| \text{ и}$$

$$\|\mathbf{A}\|_\infty = \max_{1 \leq i \leq m} \sum_{j=1}^n |a_{ij}|.$$

Для вычисления по этим формулам нормы матрицы, элементы которой расположены в файле на жестком диске, достаточно считывать их в оперативную память, например, построчно. С помощью числа обусловленности можно получать различные оценки точности вычислений, например, количество верных знаков полученного результата  $d$ , согласно [28], можно определить по формуле

$$d = -\lg(\varepsilon_M \cdot \text{cond}(\mathbf{A})),$$

где  $\varepsilon_M$  – машинное  $\varepsilon$  (наибольшее число, для которого в машинной арифметике выполняется равенство  $1.0 + \varepsilon_M = 1.0$  – одна из основных характеристик ее точности). Следует отметить, что результат вычисления машинного  $\varepsilon$  по классическому алгоритму [28] может быть искажен в результате того, что вычисления с данными расположенными в регистрах сопроцессора производятся с большей точностью, чем с переменной соответствующего типа, во избежание этого значения промежуточных переменных следует временно поместить в стек или файл. Так, например, можно воспользоваться промежуточной функцией  $f(x) = x$ , и вместо условия  $1.0 + \varepsilon_M > 1.0$  проверке подвергать условие  $f(1.0 + \varepsilon_M) > 1.0$ . Результаты определения машинного  $\varepsilon$  для процессора Pentium IV 3.4 GHz, на котором верифицировалось программное обеспечение, приводятся в табл. 1.

Таблица 1  
Результаты определения машинного  $\varepsilon$

| Тип данных | float                   | double                   | long double              |
|------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Значение   | $5.96046 \cdot 10^{-8}$ | $1.11022 \cdot 10^{-16}$ | $5.42101 \cdot 10^{-20}$ |

Точность машинной арифметики налагает объективные ограничения на числа обусловленности матриц, СЛАУ с которыми могут быть решены с приемлемой точностью на каждом конкретном компьютере. Таким образом, согласно [29] найденному решению СЛАУ можно верить при условии, что

$$\text{cond}(\mathbf{A}) \leq \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_M}}.$$

Для матриц большого порядка непосредственное вычисление числа обусловленности по формуле  $\text{cond}(\mathbf{A}) = \|\mathbf{A}\| \|\mathbf{A}^{-1}\|$  практически не может быть осуществлено из-за необходимости вычисления обратной матрицы, что требует значительных вычислительных затрат. Поэтому различными исследователями предлагается множество методов получения приближенной оценки числа обусловленности, не требующих

непосредственного вычисления обратной матрицы. Проанализируем некоторые из этих методов.

Так в [26, 27] для оценки числа обусловленности матрицы СЛАУ рекомендуют использовать следующую процедуру. Норма матрицы  $A$  вычисляется непосредственно, тогда как для нормы матрицы  $A^{-1}$  применяется оценка

$$\|A^{-1}\| \approx \frac{\|z\|}{\|y\|}.$$

Здесь  $y$  определяется из системы уравнений

$$A^T \cdot y = c,$$

где  $c$  – вектор с компонентами  $\pm 1$ , причем знак выбирается так, чтобы  $\|y\|$  была как можно большей; в свою очередь вектор  $z$  определяется из системы уравнений

$$A \cdot z = y.$$

Затем по соответствующей формуле вычисляется оценка числа обусловленности. Данная методика требует решения двух вспомогательных СЛАУ, что в случае, когда известно LU или QR разложение матрицы  $A$  может быть эффективно осуществлено [23, 24, 25]. Для рассматриваемого случая подобная методика приводит к значительным вычислительным затратам.

В предлагаемом программном обеспечении реализуется подход, основанный на полученном ниже неравенстве. Пусть вектор  $x$  является решением СЛАУ  $A \cdot x = c$ , где  $c$  – вектор, компоненты которого выбираются равными  $\pm 1$ , по аналогии с методикой из [26, 27], что обеспечивает выполнение равенства  $\|c\| = \max_i |c_i| = 1$ , тогда

$$\|x\| = \|A^{-1} \cdot c\| \leq \|A^{-1}\| \|c\| = \|A^{-1}\|,$$

или, умножая на  $\|A\|$ , получим

$$\|A\| \|x\| \leq \|A\| \|A^{-1}\| = \text{cond}(A),$$

откуда

$$\text{cond}(A) \geq \|A\| \|x\|.$$

Однако число  $\|A\| \|x\|$  является заниженной оценкой числа обусловленности, поэтому производятся следующие действия. Формируется матрица  $C = (c_1, c_2, \dots, c_p)$ , имеющая  $p$  столбцов, элементы которых выбираются равными  $\pm 1$ , выбор знака может осуществляется случайным образом. Для случайного заполнения матрицы  $C$  также можно воспользоваться и другими законами распределения, например, векторы  $c_i$  могут иметь равномерное распределение на единичной сфере  $S = \{y \in \mathbb{R}^n \mid \|y\| = 1\}$ . Решая уравнение

$$A \cdot X = C,$$

определяется матрица  $X = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ , и оценка числа обусловленности принимается равной

$$\text{cond}(A) \approx \|A\| \cdot \max_k \|x_k\|.$$

При увеличении числа  $p$  достоверность оценки возрастает. В качестве столбцов матрицы  $C$  можно взять некоторые из столбцов единичной матрицы, тогда матрица  $X$  будет содержать соответствующие столбцы матрицы  $A^{-1}$ , что также позволяет получить оценку для ее нормы. Поскольку число столбцов матрицы  $C$  может быть меньше порядка СЛАУ, применяемая методика является более экономичной по сравнению с вычислением обратной матрицы и может быть реализована в едином цикле с решением СЛАУ.

Также реализована методика, предложенная в [6, 22, 27] и позволяющая получить оценку числа обусловленности на этапе итерационного уточнения. Для этого используется формула

$$\text{cond}(A) = \frac{1}{\varepsilon_M} \frac{\|Ax\|}{\|x\|},$$

где  $x$  – решение СЛАУ;  $Ax$  – первая поправка к решению, полученная при итерационном уточнении (т.е. решение системы  $A \cdot Ax = r$ ,  $r = b - A \cdot x$ ). Численные эксперименты показали более высокую эффективность и надежность использования предыдущего метода оценки числа обусловленности.

Таблица 2

Модельные матрицы для верификации вычислений

| № п/п | Формула для расчета элементов модельной матрицы                          | Примечания                                                                                                                                                                          |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | $a_{ij} = \frac{1}{i+j-1}$                                               | Матрица Гильберта [27]. Число обусловленности быстро растет с увеличением порядка.                                                                                                  |
| 2     | $a_{ij} =  \alpha_i - \alpha_j $                                         | Матрица Мичелли [14]. Здесь $\alpha_i$ – различные целые числа.                                                                                                                     |
| 3     | $a_{ij} = a_{i-1,j} + a_{i,j-1},$<br>$a_{i1} = a_{1j} = 1$               | Матрица Паскаля [14]. Плохо обусловленная задача. Элементы быстро растут с увеличением порядка.                                                                                     |
| 4     | $a_{ij} = \sin\left(\frac{i \cdot j}{2n}\right)$                         | Плохо обусловленная матрица [30].                                                                                                                                                   |
| 5     | $a_{ij} = p + (q - p) \cdot \text{rnd}$                                  | Матрица с элементами, имеющими равномерный закон распределения на отрезке $[p, q]$ . Здесь $\text{rnd}$ – псевдослучайное число, с равномерным распределением на отрезке $[0, 1]$ . |
| 6     | $a_{ij} = \exp(\beta \cdot i \cdot j)$                                   | Матрица с варьируемой обусловленностью. Число $\beta < 0$ [30].                                                                                                                     |
| 7     | $a_{ij} = 1.0 + \ln(i \cdot j) / \ln 2 + \beta \cdot (\text{rnd} - 0.5)$ | Матрица с варьируемой обусловленностью, $\beta > 0$ .                                                                                                                               |

Верификация разработанного программного обеспечения производилась на СЛАУ с модельными ПЗМ. В некоторых матрицах элементы содержат параметры, позволяющие регулировать числа обусловленности. В табл. 2 приведены некоторые из них. Проверка корректности решения СЛАУ производилась следующим образом. Генерировались матрицы  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{X}^*$ . Матрица  $\mathbf{B}$  вычислялась по формуле  $\mathbf{B} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X}^*$ , причем вычисление элементов матрицы производилось с двойной точностью. Затем решалась СЛАУ  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{X} = \mathbf{B}$ , истинным решением которой является  $\mathbf{X}^*$ . Абсолютная и относительная погрешность найденного решения оценивались соответственно по формулам

$$\|\mathbf{X} - \mathbf{X}^*\|_{\infty} \text{ и } \frac{\|\mathbf{X} - \mathbf{X}^*\|_{\infty}}{\|\mathbf{X}^*\|_{\infty}}.$$

Для СЛАУ приемлемого порядка также производилось сравнение результатов расчетов с аналогичными, полученными в результате использования математического пакета MathCAD. В табл. 3 приводятся некоторые результаты верификации решения СЛАУ. Решалась СЛАУ с матрицей номер 7 из табл. 2, при ее решении использовались переменные типа double.

Таблица 3  
Результаты верификации процедуры решения СЛАУ

| Порядок СЛАУ | $\beta$    | Оценка            | $\ \mathbf{X} - \mathbf{X}^*\ _{\infty}$ | $\frac{\ \mathbf{X} - \mathbf{X}^*\ _{\infty}}{\ \mathbf{X}^*\ _{\infty}} \cdot 100\%$ |
|--------------|------------|-------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 5000         | $10^{-10}$ | $2 \cdot 10^{12}$ | $1.2 \cdot 10^{-2}$                      | 1.2                                                                                    |
| 5000         | $10^{-8}$  | $5 \cdot 10^{10}$ | $1.9 \cdot 10^{-5}$                      | $1.9 \cdot 10^{-3}$                                                                    |
| 25000        | $10^{-10}$ | $3 \cdot 10^{13}$ | $2.2 \cdot 10^{-2}$                      | 2.2                                                                                    |
| 25000        | $10^{-8}$  | $2 \cdot 10^{11}$ | $9.6 \cdot 10^{-5}$                      | $9.6 \cdot 10^{-3}$                                                                    |

Результаты оценивания чисел обусловленности матриц Гильберта различного порядка приведены в табл. 4. Сравнение с истинными значениями, которые для 2-нормы приведены в [27], показали что оценка имеет верный порядок величины, чего в большинстве случаев достаточно для оценки погрешности вычислений. Для других матриц, взятых, например, из [6, 26], использование метода также привело к приемлемым результатам.

Таблица 4  
Оценка чисел обусловленности матриц Гильберта

| Порядок | Число обусловленности матриц Гильберта [12] | Число столбцов матрицы $\mathbf{C}$ |                     |                     |
|---------|---------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
|         |                                             | 1                                   | 2                   | 3                   |
| 5       | $4.77 \cdot 10^5$                           | $1.3 \cdot 10^5$                    | $4.1 \cdot 10^5$    | $5.4 \cdot 10^5$    |
| 6       | $1.50 \cdot 10^7$                           | $1.1 \cdot 10^6$                    | $2.0 \cdot 10^7$    | $2.0 \cdot 10^7$    |
| 7       | $4.75 \cdot 10^8$                           | $1.9 \cdot 10^8$                    | $9.7 \cdot 10^8$    | $9.7 \cdot 10^8$    |
| 8       | $1.53 \cdot 10^{10}$                        | $1.2 \cdot 10^{10}$                 | $1.3 \cdot 10^{10}$ | $2.8 \cdot 10^{10}$ |
| 9       | $4.93 \cdot 10^{11}$                        | $2.7 \cdot 10^{11}$                 | $3.0 \cdot 10^{11}$ | $3.0 \cdot 10^{11}$ |
| 10      | $1.60 \cdot 10^{13}$                        | $6.8 \cdot 10^{11}$                 | $3.6 \cdot 10^{12}$ | $1.2 \cdot 10^{13}$ |

Результаты верификации позволяют сделать вывод о корректности работы программного обеспечения и возможности его использования для решения СЛАУ с квадратной несимметричной вещественной ПЗМ большого порядка. Авторами производились расчеты, в которых порядок СЛАУ достигал 50000 и более. Время счета зависит от характеристик используемого компьютера и для СЛАУ указанного порядка может достигать 1-2 суток. Несмотря на значительные временные затраты применение разработанного программного обеспечения оправдано тем, что оно позволяет находить за заранее известное число операций решение задач, для которых неприменимы итерационные методы, при этом не прибегая к использованию специальных аппаратных средств.

Разработанное программное обеспечение включено в состав программных комплексов, предназначенных для решения задач технической электродинамики: задач синтеза магнитного поля с заданным распределением, анализа магнитных систем с использованием методов граничных и пространственных интегральных уравнений, где показало достаточно высокую эффективность.

### Литература

1. Писсанецки С. Технология разреженных матриц. – М.: Мир, 1988. – 410 с.
2. Эстербю О., Златев З. Прямые методы для разреженных матриц. – М.: Мир, 1987. – 120 с.
3. Тозони О.В. Метод вторичных источников в электротехнике. М.: Энергия, 1975. – 296 с.
4. Курбатов П.А., Аринчин С.А. Численный расчет электромагнитных полей. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 167 с.
5. Демирчян К.С., Чечурин В.Л. Машинные расчеты электромагнитных полей. – М.: Высшая школа, 1986. – 240 с.
6. Молчанов И.Н. Машинные методы решения прикладных задач. Алгебра, приближение функций. – К.: Наукова думка, 1987. – 287 с.
7. Хейгеман Л., Янг Д. Прикладные итерационные методы. М.: Мир, 1986. – 448 с.
8. Фадеев Д.К., Фадеева В.К. Вычислительные методы линейной алгебры. – М. – Л.: Гос. Изд-во физ.-мат. литературы, 1963. – 734 с.
9. Баландин М.Ю., Шурина Э.П. Методы решения СЛАУ большой размерности. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 70 с.
10. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Наука, 1967. – 576 с.
11. Kelley C.T. Iterative methods for linear and nonlinear equations. – Philadelphia: SIAM, 1995. – 166 p.
12. Saad Y. Iterative methods for sparse linear systems. – PWS Publishing Company, 1996. – 448 p.
13. Henk van der Vorst. Iterative Krylov methods for large linear systems. Cambridge University Press, 2003. – 222 p.
14. Абаффи Й., Спедикато Э. Математические методы для линейных и нелинейных уравнений: Проекционные ABS-алгоритмы. М.: Мир, 1996. – 268 с.
15. Формалев В.Ф., Ревизников Д.Л. Численные методы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 400 с.
16. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.

17. Мудров А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль. – Томск: МП «РАСКО», 1991. – 272 с.
18. Турчак Л.И., Плотников П.В. Основы численных методов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 304 с.
19. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 636 с.
20. Маликов В.Т., Кветный Р.Н. Вычислительные методы и применение ЭВМ. К.: Вища школа, 1989. – 212 с.
21. <http://www.netlib.org>
22. Бартенев О.В. Фортран для профессионалов. Математическая библиотека IMSL. Часть 1. – М.: Диалог-МИФИ, 2001. – 448 с.
23. Уилкинсон Дж., Райнш К. Справочник алгоритмов на языке АЛГОЛ. Линейная алгебра. – М.: Машиностроение, 1976. – 390 с.
24. Малышев А.Н. Введение в вычислительную линейную алгебру. – Новосибирск: Наука, 1991. – 226 с.
25. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления. – М.: Мир, 1999. – 548 с.
26. Каханер Д., Моулер К., Неш С. Численные методы и программное обеспечение. – М.: Мир, 1998. – 576 с.
27. Форсайт Дж., Моулер К. Численное решение систем линейных алгебраических уравнений. – М.: Мир, 1969. – 167 с.
28. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. – М.: Мир, 1980. – 280 с.
29. Дэнис Дж., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений. – М.: Мир. 1988. – 440 с.

30. [http://www.cde.spbstu.ru/CD\\_ED/consulting/svs/n-ex-leq/text\\_matr.html](http://www.cde.spbstu.ru/CD_ED/consulting/svs/n-ex-leq/text_matr.html)

**Ostapushchenko D.L.**

**COMPUTER IMPLEMENTATION OF THE DIRECT METHOD FOR SOLVING SYSTEMS OF LINEAR ALGEBRAIC EQUATIONS WITH HIGH ORDER DENSE MATRIXES IN PROBLEMS OF COMPUTATIONAL ELECTRODYNAMICS**

*Software developed by author and intended for the solving the systems of linear algebraic equations with the real asymmetrical dense matrices of large order on computers with universal architecture is considered.*

**Keywords:** system of linear algebraic equations, densely filled matrix, random access memory, direct method, condition number.

**Остапушенко Дмитрий Леонидович**, к.т.н., доцент кафедры «Прикладная математика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** ostapuschenko\_dmitriy@mail.ru

**Ostapushchenko Dmitriy Leonidovich**, Cand.Sci (Tech.), Assoc. Prof. in «Applied mathematics» of SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технологии машиностроения и инженерного консалтинга» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 669.15'24'26'28.018.58 – 194:623.438

## ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ОБРАЗЦОВ СПЕЦИАЛЬНОЙ СТАЛИ. ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ГУСЕНИЧНЫХ И КОЛЕСНЫХ МАШИН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СОБСТВЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Парсентьев О.С.

## INFLUENCE OF THE SHAPE OF SAMPLES OF SPECIAL STEEL USED FOR PROTECTION MULTI-PURPOSE TRACKED AND WHEELED VEHICLES ON THE CHARACTERISTICS OF THEIR OWN MAGNETIC FIELD

Parsentev O.S.

*Несмотря на большое научное и техническое значение, многие вопросы физики ферромагнитных свойств специальных сталей пока изучены недостаточно. Это особенно касается вопросов природы и механизма намагничивания и перемагничивания, что затрудняет решение прикладных задач по улучшению рабочих и технологических свойств материалов, разработку новых материалов с заранее заданными характеристиками.*

*Одним из важнейших свойств ферромагнитного материала является самопроизвольная намагниченность отдельных областей (доменов), которая практически проявляется в виде намагниченности насыщения. Остальные магнитные свойства, а именно кривая намагничивания, магнитная проницаемость, коэрцитивная сила, магнитная энергия и др., связаны с величиной намагниченности насыщения.*

*В данной работе теоретические исследования проводились на образцах специальных сталей отечественного и зарубежного производства, используемых для бронирования многоцелевых гусеничных и колесных машин. В зависимости от изменения геометрических параметров образцов стали определялась величина коэффициента размагничивания по формулам Окоши и Розенблата, в том числе величина магнитоупругой и кристаллической энергии.*

*В результате проведенных исследований установлено, что при толщине образцов стали более 2 мм расчеты коэффициента размагничивания по формуле Окоши дают удовлетворительные результаты в сравнении с результатами расчета, проведенными по формуле Розенблата.*

*Однако при толщине образцов гомогенной стали менее 2 мм результаты расчета, проведенные по формуле Окоши, противоречат гипотезе адекватности и нуждаются в доработке.*

**Ключевые слова:** образец, пластина гомогенной стали, катаная броня, многоцелевые колесные и гусеничные машины, намагниченность насыщения, коэффициент размагничивания, магнитоупругая и кристаллическая энергия, коэрцитивная сила.

**Введение.** Специальные стали – это сплавы на основе железа, отличающиеся от обычных сталей химическим составом, способом производства и их обработки [7].

Стали специального назначения благодаря своим уникальным свойствам находят широкое

применение в авиации, военной промышленности, машиностроении, медицине, электроэнергетике, станкостроении и т.д.

Так, в многоцелевых гусеничных и колесных машинах для повышения безопасности членов экипажа, сохранения долговечности, безотказной работы, надежности и боеспособности в качестве элемента защиты – брони используют специальные гомогенные стали с системой легирования Cr-Ni-Mo и ограничением по верхнему допустимому содержанию углерода (не более 0,30% для толщин до 100 мм) [5].

Гомогенные стали должны выдерживать без раскола многократное попадание крупнокалиберных снарядов и пуль. На всех этапах производства такие стали подвергаются программе приемосдаточных испытаний.

Изучению зависимости магнитных характеристик специальных сталей от их фазового состава посвящено большинство работ. Однако характерен значительный разрыв в успехах, достигнутых при теоретических и экспериментальных исследованиях процессов намагничивания ферромагнетиков, и в практическом применении полученных результатов для целей фазового анализа гомогенных сталей.

Большинство известных методов фазового анализа требует применения эталонного образца, получение которого является достаточно сложной задачей [9, 11-15]. Наиболее остро эта проблема стоит для сложнолегированных сталей. Известный безэталонный метод анализа фазового состава специальных сталей не обеспечивает достаточной для практики точности измерений при малых содержаниях немагнитной фазы из-за необходимости определения из кривой намагничивания двух составляющих.

Другой проблемой магнитного фазового анализа является отсутствие серийной промышленной аппаратуры, отвечающей современным требованиям. Это обусловлено тем, что большинство известных методов измерения намагниченности из-за специфических требований

непригодно для целей фазового анализа. Ни один из известных приборов для магнитного фазового анализа броневых сталей не содержит в своем составе средств вычислительной техники.

В то же время безэталонный метод фазового анализа гомогенных сталей в области подхода к насыщению требует большого объема измерений и сложной математической обработки полученных результатов.

Применение средств вычислительной техники отвечает современным тенденциям развития приборов для научных исследований и контроля качества броневых сталей. Наличие IBM PC позволяет не только повысить производительность труда и точность вычислений, но и позволит открыть новые возможности металлургических исследований фазового состава сталей.

Для специальных сталей предложены различные эмпирические формулы, связывающие величину намагниченности насыщения ферромагнитной фазы с содержанием легирующих элементов в углероде [10]. Значения постоянных коэффициентов подхода к насыщению зависят от величины намагниченности насыщения фазы.

Намагниченность насыщения  $M_s$  может быть определена по эталонному образцу специальной стали, не содержащему немагнитной фазы и имеющему тот же химический состав, что и у магнитной фазы измеряемого образца.

Привлечение такого параметра образца (стержня, сердечника), как центральный коэффициент размагничивания было вызвано тем, что не существовало анализа магнитного поля в стержне, который бы позволил рассчитывать магнитную проницаемость сердечников, не прибегая к понятию центрального коэффициента размагничивания.

Существенным фактором, влияющим на точность расчета коэффициента размагничивания, является величина намагниченности в образце стали. Количественных закономерностей, характеризующих процесс уменьшения проницаемости, в настоящий момент не предложено. Каждому особому процессу перемагничивания должен быть сопоставлен наиболее удобный для его описания коэффициент размагничивания, так как последний зависит от величины намагниченности, магнитной предыстории и геометрических параметров образца бронированной стали.

Таким образом, целью настоящей статьи является определение магнитных характеристик специальных сталей, используемых для бронирования гусеничных и колесных машин от содержания в них углерода и изменения геометрических размеров.

Для исследования влияния геометрических размеров на магнитные свойства гомогенных сталей в расчетах приняты образцы отечественных марок броневых сталей «2П», «7», «77», «88», «44»,

химический состав и толщина которых приводятся в (табл.1), а также зарубежные марки сталей MARS (Франция) и ARMOX (Швеция), химический состав и толщина которых даны в табл. 2 и 3.

Исследуемые образцы отечественных и зарубежных марок специальной стали представлены в виде пластин (рис.1), которые имеют габаритные размеры: длину  $l=0,01; 0,03; 0,05; 0,07; 0,09$  и  $0,1$  м, ширину  $b=0,05$  м и толщину  $d$ , которая изменяется от 0,002 до 0,5 м. Силовые линии магнитного поля  $B$  направлены к исследуемому образцу стали, как показано на рис.1.

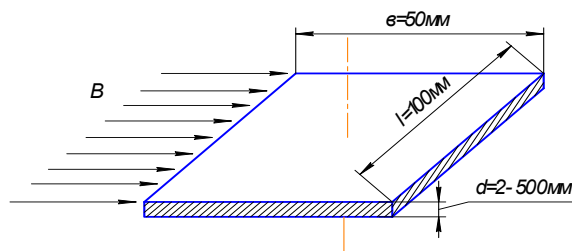


Рис. 1. К определению габаритных размеров исследуемой пластины и силовых линий магнитного поля

**Специальные стали для бронирования тяжелой техники.** Специальные стали для бронирования тяжелой техники поставляются в состоянии термического улучшения (заковки и высокого отпуска) при твердости 280-388 НВ. Основные технические требования и условия приемки регламентируются техническими условиями на поставку броневых листов (за рубежом – MIL-A-12560) [5].

Так, для бронирования танка Т-72 конструкция корпуса выполняется коробчатой и собирается из листов катаной гомогенной броневой стали [4]. Лобовая часть брони состоит из сходящихся клином двух плит с комбинированным бронированием. Верхняя плита включает 80 мм стального наружного слоя, 105-миллиметрового стеклотекстолитового и внутреннего стального слоя толщиной в 20 мм. Нижняя плита – катаная гомогенная броневая сталь в 85 мм. Приведенная комбинированная защита эквивалентна 305-410 мм брони. Остальной корпус выполнен из гомогенной катаной стали. Вертикальные борта – 80 мм в передней части и 70 мм в моторно-трансмиссионной. Последняя отделяется от боевого отсека броневой перегородкой.

В период с 1974 по 1990 годы только на «Уралвагонзаводе» (Россия) было выпущено 20544 танка Т-72 различных модификаций.

Типичными представителями заграничного класса сталей являются броневые стали марки MARS 190 (Франция), ARMOX (Швеция). Стали типа ARMOX 300S и 400S также имеют указанный класс прочности. Причем прочность в последних достигается за счет заковки и низкого отпуска.

**Специальные стали для легкобронированной техники.** Стали, выпускаемые для этих целей, имеют содержание углерода не более 0,32%. Поставляются в состоянии заковки и низкого отпуска с твердостью 477...534НВ. Основные технические требования и условия приемки регламентируются техническими условиями на поставку броневых листов (за рубежом – MIL-A-46100) [5]. Типичными представителями этого класса являются броневые стали марки MARS 240 (Франция) и ARMOX 500S (Швеция). Отечественными аналогами являются стали марок «2П» и «7».

**Специальные стали широкого спектра применения.** Для брони второго класса стали марки MARS 270 (Франция), ARMOX 560S (Швеция), «77», «88» (Россия) поставляются в состоянии заковки и низкого отпуска при твердости 534...601НВ (для толщин 4,7...25,4 мм) и 477...534 НВ (для толщин 25,5...76,2 мм). Основные технические требования и условия приемки регламентируются техническими условиями на поставку броневых листов (за рубежом – MIL-A-46173) [5].

Таблица 1

**Характеристики броневых сталей, выпускаемых отечественными металлургическими комбинатами Российской Федерации**

| Марка стали | Система легирования, % | Толщина d, мм | Содержание углерода, вес % | Аналог ТУ |
|-------------|------------------------|---------------|----------------------------|-----------|
| «2П»        | Si-Mn-Mo               | 4 – 7         | ≤0,29                      | MIL 46100 |
|             |                        | 8 – 14        |                            |           |
|             |                        | 15 – 22       |                            |           |
| «7»         | Si-Cr-Ni-Mo            | 4             | ≤0,24                      | MIL 46100 |
|             |                        | 5 – 6         |                            |           |
|             |                        | 8 – 13        |                            |           |
|             |                        | 15 – 22       |                            |           |
| «77»        | Cr-Ni-Mo-V             | 8 – 20        | ≤0,37                      | MIL46173  |
| «88»        |                        | 8 – 20        | ≤0,42                      | MIL46173  |
| «44»        |                        | 2 – 15        | ≤0,47                      |           |

Таблица 2

**Характеристики броневых сталей, выпускаемых металлургическими комбинатами Франции**

| Марка стали | Система легирования, %     | Толщина d, мм | Содержание углерода, вес % | Аналог ТУ |
|-------------|----------------------------|---------------|----------------------------|-----------|
| MARS190     | 0,30C-1,10Cr-2,0Ni-0,45Mo  | 2 – 50        | ≤0,30                      | MIL 12560 |
|             |                            | 51 – 500      | ≤0,33                      |           |
| MARS240     | 0,28C-1,50Cr-1,50Ni-0,30Mo | ≤38           | ≤0,32                      | MIL 46100 |
|             |                            | 38 – 50       |                            |           |
| MARS270     | 0,35C-0,75Cr-3,10Ni-0,40Mo | < 25          | ≤0,37                      | MIL 46173 |
|             |                            | 25 – 75       |                            |           |
| MARS300     | 0,50C-0,80Si-4,0Ni-0,40Mo  | ≤8            | ≤0,54                      |           |

Таблица 3

**Характеристики броневых сталей, выпускаемых металлургическими комбинатами Швеции**

| Марка стали | Система легирования, %               | Толщина d, мм | Содержание углерода, вес % | Аналог ТУ |
|-------------|--------------------------------------|---------------|----------------------------|-----------|
| ARMOX 300S  | 0,18C-1,5Mn-0,4Cr-0,65Mo-0,003B      | 5 – 60        | ≤0,20                      | MIL 12560 |
| ARMOX 400S  |                                      |               |                            |           |
| ARMOX 370S  | 0,28-1Mn-0,8Cr-1,1Ni-0,65Mo-0,002B   | 5 – 12,9      | ≤0,30                      | MIL 46100 |
|             |                                      | 13 – 22       |                            | MIL 12560 |
|             |                                      | 22,1 – 34,9   |                            |           |
|             |                                      | 35 – 59,9     |                            |           |
| ARMOX 500S  | 0,28-1Mn-0,8Cr-1,1Ni-0,65Mo-0,002B   | 6 – 13        | ≤0,30                      | MIL 46100 |
|             |                                      | 13,1 – 50     |                            |           |
| ARMOX 560S  | 0,35-1Mn-1,20Cr-3Ni-0,65Mo-0,002B    | 6 – 20        | ≤ 0,38                     | MIL 46173 |
| ARMOX 600S  | 0,45-0,8Mn-0,8Cr-2,5Ni-0,65Mo-0,002B | 4 – 10        | ≤ 0,50                     | MIL 46173 |

Анализ табл. 1 – 3 позволяет сделать заключение о том, что сталелитейные заводы Франции производят ассортимент бронированной стали с большим диапазоном толщин, в сравнении с отечественными сталелитейными заводами.

Как известно, содержание углерода в сталях влияет на прочность и твердость стали, а также воздействует на порог хладноломкости, технологические и магнитные свойства сталей [7].

Учитывая вышесказанное, намагниченность насыщения специальных сталей определяется по формуле [2, 9], А/м:

$$M_S = (1720 - 74q) \cdot 10^3, \quad (1)$$

где  $M_S$  – намагниченность насыщения в А/м;

$q$  – процентное содержание углерода  $C_2$  в сталях, % [7].

Значение индукции магнитного поля, создаваемой образцом гомогенной стали, при намагничивании до насыщения определяется по формуле [7], Тл:

$$B' = \mu_0 \cdot M_S, \quad (2)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная, Гн/м.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м.}$$

Так как коэффициент размагничивания постоянен в любой точке стержней и не зависит ни от характеристики материала, ни от режима перемагничивания, то его величину достоверно можно определить по формуле Окоши [3]:

$$N_{u.np.} = \frac{3,25}{4 \cdot \pi} \left( \left( \frac{l}{\sqrt{S}} \right)^{-0,87} - 0,07 \right) \cdot \left( 1 - 0,027 \frac{b}{d} \right), \quad (3)$$

где  $l$  – длина стержня (пластины), м;

$S$  – площадь поперечного сечения пластины, м<sup>2</sup>;

$b$  и  $d$  – большая и меньшая стороны сечения пластины, м.

При толщине  $d$  стержня менее  $\leq 2$  мм формула (3) переводит значения коэффициента размагничивания  $N_{u.np.}$  в область отрицательных значений.

Поэтому для уточнения и пересчета коэффициента размагничивания стержней прямоугольного сечения необходимо использовать формулу М.А. Розенблата [8]:

$$N_{u.np.} = \frac{4 \cdot S \cdot \left( \ln \frac{kl}{\delta + h} - l \right)}{\pi \cdot l^2}, \quad (4)$$

где  $l$  – длина стержня, м<sup>2</sup>;

$S$  – площадь поперечного сечения стержня, м<sup>2</sup>;

$\delta$  и  $h$  – поперечные размеры стержня, м<sup>2</sup>;

$k$  – табличный коэффициент [8]. Для стержней прямоугольного сечения  $k=3,6$ .

Так как катаная броня, применяемая для защиты гусеничных и колесных машин, имеет гомогенную структуру [4], т.е. состоит из одного состава и структуры, следовательно, ее магнитное поле можно представить изотропным магнетиком [6], размагничивающее действие которого предварительно можно определить по формуле, А/м:

$$H_\sigma = M_S \cdot N_{u.np.}, \quad (5)$$

где  $H_\sigma$  – напряженность размагничивающего поля, А/м.

Оптимальная величина коэрцитивной силы стержней специальной стали определяется по формуле [1, с 148], А/м:

$$H_c = \left( \frac{H_\sigma}{123} \right)^2. \quad (6)$$

Величина кристаллической и магнитоупругой энергии поля в объеме ферромагнитного тела определяется по формуле [1], Дж:

$$W = \frac{\mu_0 \cdot H^2 \cdot V_{cm}}{2} = \frac{\mu_0 \cdot M_S^2 \cdot V_{cm}}{2}, \quad (7)$$

где  $V_{cm}$  – объем ферромагнитного стержня, м<sup>3</sup>.

Коэффициент  $K_a$ , учитывающий влияние и распределение внутренних напряжений в образце стали [1]:

$$K_a = \frac{H_c \cdot M_S}{2}. \quad (8)$$

На рис. 2 представлены зависимости магнитной индукции насыщения от содержания углерода  $B_s=f(C_2)$  в гомогенных сталях. На рис. 3, 5 и 7 представлены зависимости намагниченности насыщения от толщины листов гомогенных сталей  $M_s=f(d)$ , выпускаемых отечественными металлургическими комбинатами и металлургическими комбинатами Швеции и Франции.

На рис. 4, 6 и 8 представлены зависимости изменения кристаллической и магнитоупругой энергии от коэффициента размагничивания  $W=f(N_{u.np.})$ , рассчитанные по формулам Окоши (3) и Розенблата (4), а также зависимости изменения коэффициента распределения внутренних напряжений в образцах отечественных гомогенных сталей и специальных сталей Швеции и Франции.

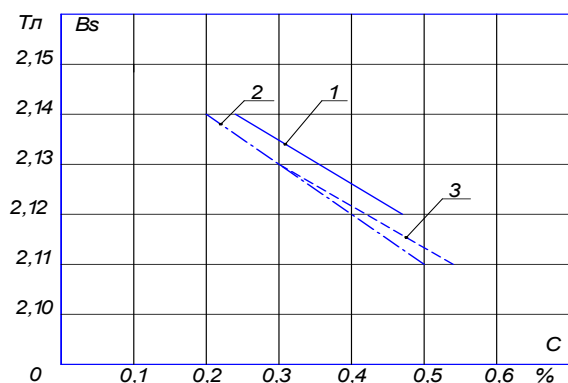


Рис. 2. Зависимость магнитной индукции насыщения от содержания углерода  $B_s=f(C)$  в однородных сталях производства:

1 – Российской Федерации «2П»; «7»; «77»; «88» и «44»; 2 – Швеции ARMOX 300S – ARMOX 600S; 3 – Франции: MARS 190 – MARS 300

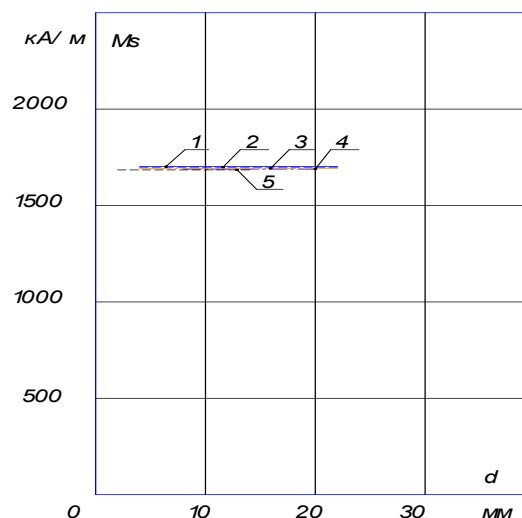
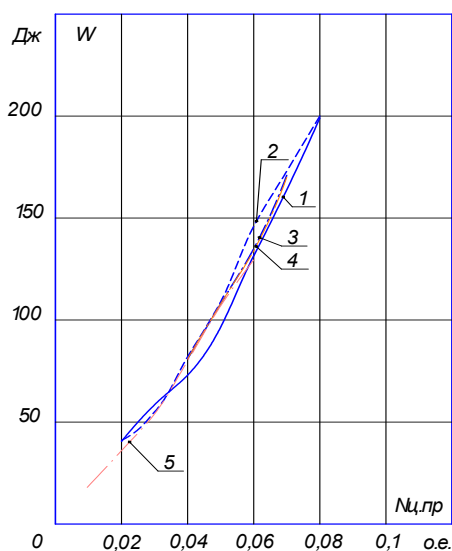
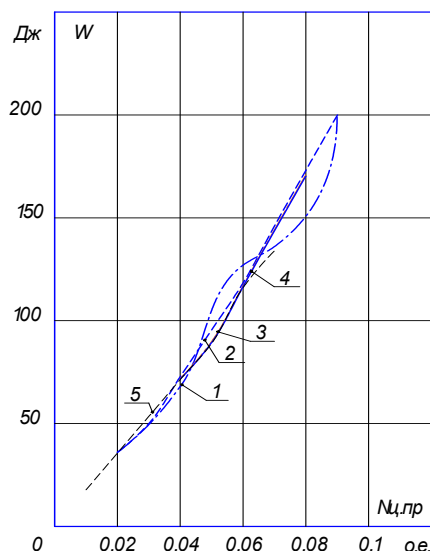


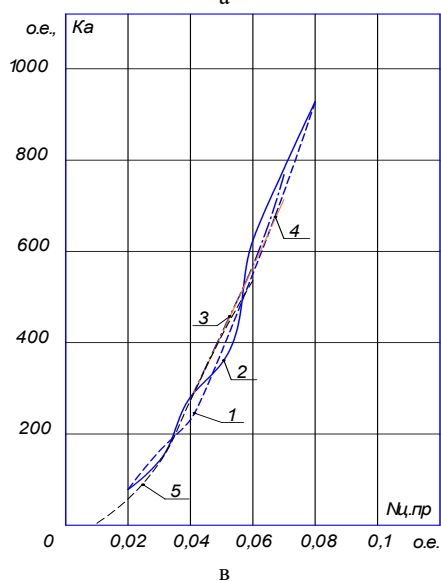
Рис. 3. Зависимости изменения намагниченности насыщения от толщины листов однородных сталей  $M_s=f(d)$ , построенные для следующих отечественных марок: 1 – «2П»; 2 – «7»; 3 – «77»; 4 – «88»; 5 – «44»



а



б



в

Рис. 4. Зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициента размагничивания  $W=f(N_{c,lp})$ , рассчитанные с помощью формул Окоши (а) и Розенблата (б), а также зависимость изменения коэффициента распределения внутренних напряжений в отечественных образцах однородных сталей от коэффициента размагничивания  $K_a=f(N_{c,lp})$  (в), рассчитанные для следующих марок: 1-«2П»; 2-«7»; 3-«77»; 4-«88»; 5-«44»

Анализ рис. 3 позволяет сделать заключение о том, что с увеличением процентного содержания углерода в отечественных и зарубежных марках гомогенной стали намагниченность их насыщения снижается. Увеличение толщины листов не влияет на наклон исследуемых характеристик.

Анализ рис. 4, а, б позволяет сделать заключение о том, что при постоянстве длины и ширины в исследуемых образцах стали  $l$  и  $b = \text{const}$  увеличение толщины  $d$  приводит к увеличению коэффициента размагничивания, магнитоупругой и кристаллической энергии.

Абсолютное совпадение теоретических результатов расчета коэффициента размагничивания по формулам (3) и (4) имеют образцы следующих марок отечественных гомогенных сталей толщиной:

| Марка стали | $l, \text{м}$ | $b, \text{м}$ | $d, \text{м}$                     |
|-------------|---------------|---------------|-----------------------------------|
| «2П»        | 0,1           | 0,05          | 0,004; 0,006; 0,008; 0,014        |
| «7»         |               |               | 0,004; 0,006; 0,008; 0,011        |
| «77»        |               |               | 0,008; 0,014                      |
| «88»        |               |               | 0,08; 0,014                       |
| «44»        |               |               | 0,002; 0,004; 0,006; 0,008; 0,014 |

Неудовлетворительные результаты расчета коэффициента размагничивания по указанным формулам установлены для образцов гомогенной стали толщиной:

| Марка стали | $l, \text{м}$ | $b, \text{м}$ | $d, \text{м}$                                  |
|-------------|---------------|---------------|------------------------------------------------|
| «2П»        | 0,1           | 0,05          | 0,005; 0,007; 0,015; 0,022                     |
| «7»         |               |               | 0,005; 0,01; 0,013; 0,015; 0,017; 0,019; 0,022 |
| «77»        |               |               | 0,01; 0,012; 0,016; 0,018; 0,02                |
| «88»        |               |               | 0,01; 0,012; 0,016; 0,018; 0,02                |
| «44»        |               |               | 0,01; 0,012; 0,015                             |

При сравнительном анализе расчетов коэффициента размагничивания для отечественных марок сталей установлено, что относительная погрешность результатов теоретических исследований выходит за пределы допустимых значений и находится в пределах от 12,5 до 50 %.

Увеличение коэффициента размагничивания приводит к возрастанию коэффициента распределения внутренних напряжений в исследуемых образцах стали (рис. 4, в).

Анализ рис. 5 позволяет сделать заключение о том, что с увеличением процентного содержания углерода в гомогенных сталях типа ARMOX намагниченность их насыщения снижается. Увеличение толщины листов не влияет на наклон исследуемых характеристик.

Анализ рис. 6, а, б позволяет сделать заключение о том, что при постоянстве длины и

ширины исследуемых образцов гомогенной стали  $l$  и  $b = \text{const}$  увеличение толщины  $d$  приводит к увеличению коэффициента размагничивания, магнитоупругой и кристаллической энергии.

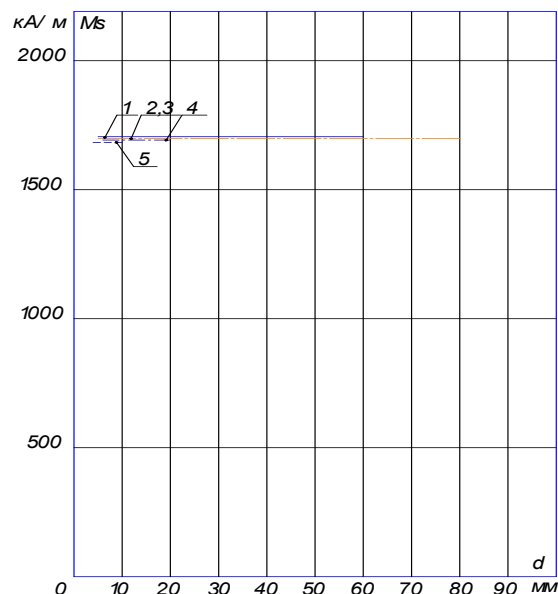


Рис. 5. Зависимости изменения намагниченности насыщения от толщины листов гомогенных сталей  $M_s = f(d)$  Швеции, построенные для следующих марок: 1 – «ARMOX 300S и 400S»; 2 – «ARMOX 370S и 500S»; 3 – «ARMOX 370S»; 4 – «ARMOX 560S»; 6 – «ARMOX 600S»

Абсолютное совпадение теоретических результатов расчета коэффициента размагничивания по формулам (3) и (4) имеют образцы гомогенных сталей Швеции толщиной:

| Марка стали      | $l, \text{м}$ | $b, \text{м}$ | $d, \text{м}$                         |
|------------------|---------------|---------------|---------------------------------------|
| ARMOX 300S; 400S | 0,1           | 0,05          | 0,005; 0,01; 0,02; 0,03               |
| ARMOX 370S; 500S |               |               | 0,005; 0,01; 0,013; 0,02; 0,025; 0,03 |
| ARMOX 560S       |               |               | 0,01; 0,012; 0,016; 0,018; 0,02       |
| ARMOX 600S       |               |               | 0,01                                  |

Неудовлетворительные результаты расчета коэффициента размагничивания по указанным формулам наблюдаются для образцов гомогенной стали толщиной:

| Марка стали      | $l, \text{м}$ | $b, \text{м}$ | $d, \text{м}$                |
|------------------|---------------|---------------|------------------------------|
| ARMOX 300S; 400S | 0,1           | 0,05          | 0,04; 0,05; 0,06             |
| ARMOX 370S;      |               |               | 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08 |
| ARMOX 560S       |               |               | 0,006; 0,014                 |
| ARMOX 600S       |               |               | 0,004; 0,006; 0,008          |

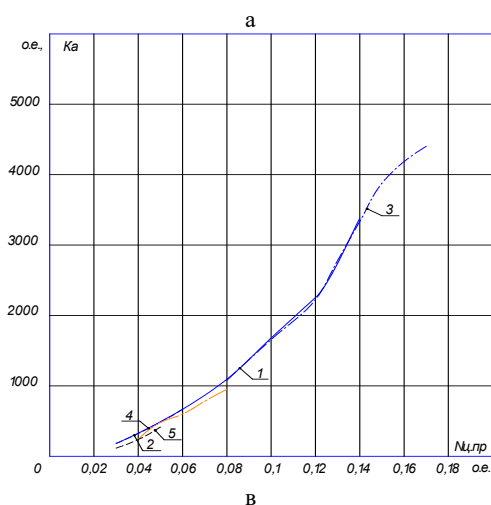
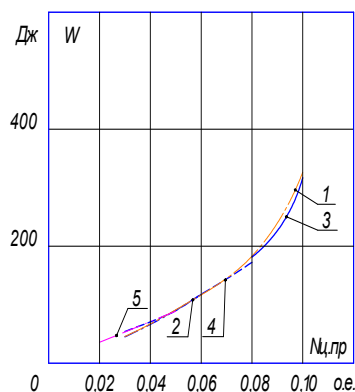
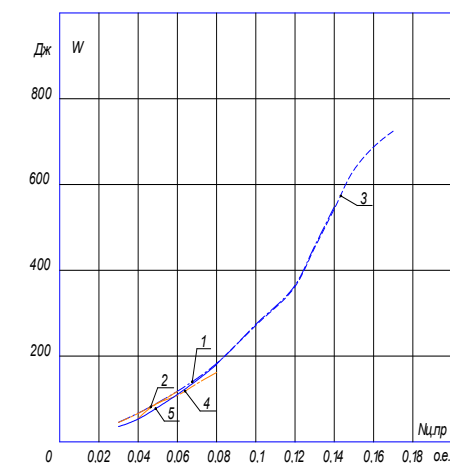


Рис. 6. Зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициента размагничивания  $W = f(N_{ц.пр})$ , рассчитанные при помощи формул Окоши (а) и Розенблата (б), а также зависимость изменения коэффициента распределения внутренних напряжений в образцах однородных сталей Швеции от коэффициента размагничивания  $K_a = f(N_{ц.пр})$  (в), рассчитанные для следующих марок: 1 – «ARMOX 300S и 400S»; 2 – «ARMOX 370S и 500S»; 3 – «ARMOX 370S»; 4 – «ARMOX 560S»; 6 – «ARMOX 600S»

При сравнительном анализе расчетов коэффициента размагничивания для исследуемых сталей Швеции установлено, что относительная погрешность результатов теоретических исследований выходит за пределы допустимых значений и находится в пределах от 14,3 до 94,1 %.

Увеличение коэффициента размагничивания приводит к возрастанию коэффициента распределения внутренних напряжений в исследуемых образцах стали (рис. 6, в).

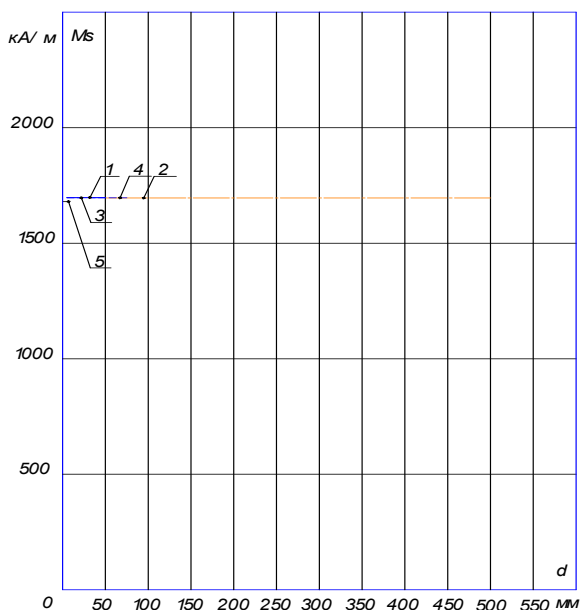


Рис. 7. Зависимости изменения намагниченности насыщения от толщины листов однородных сталей  $M_s = f(d)$  Франции, построенные для следующих марок: 1 – «MARS 190(C2=0,3%)»; 2 – «MARS 190 (C2=0,33%)»; 3 – «MARS 240»; 4 – «MARS 270»; 5 – «MARS 300»

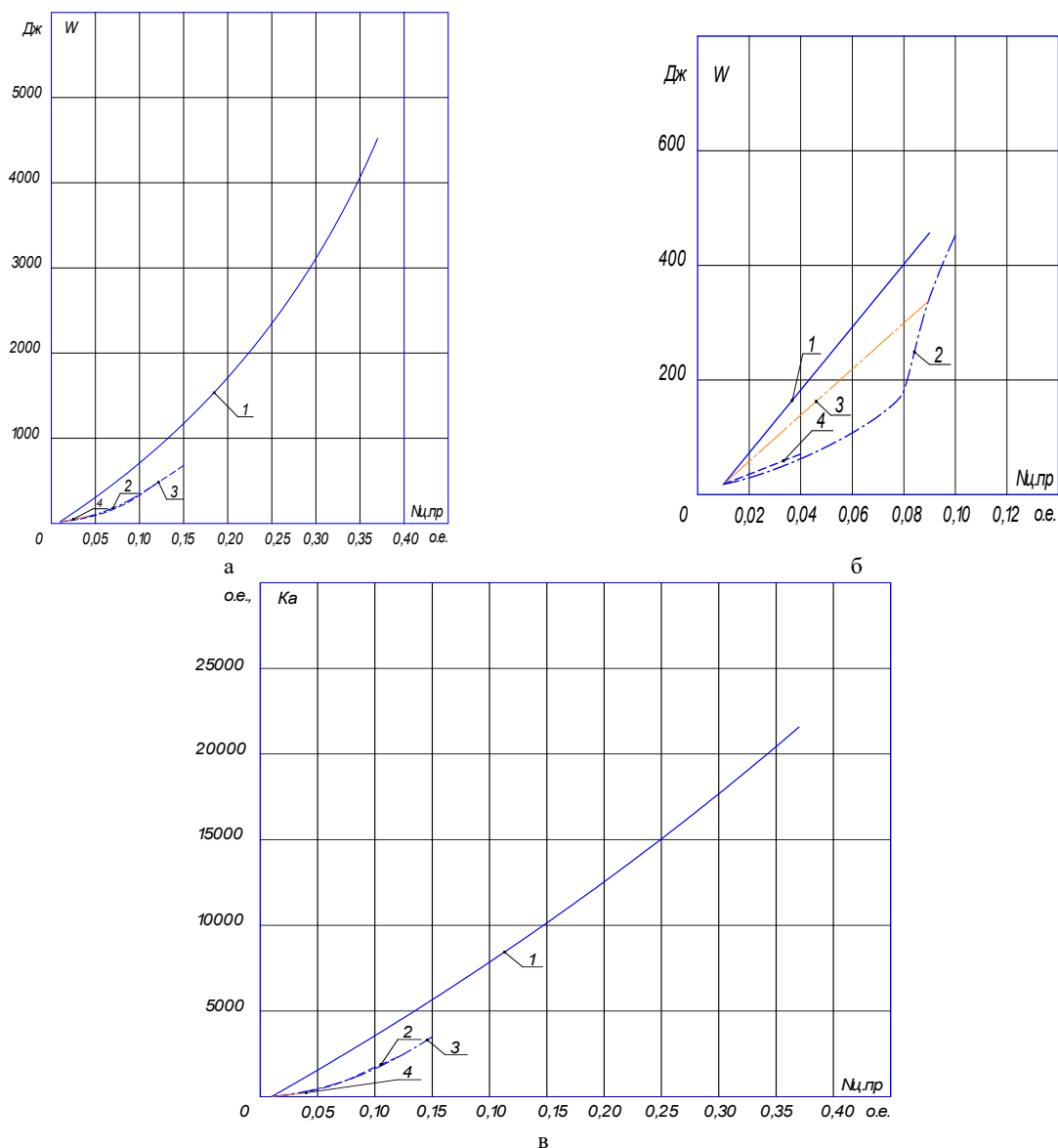


Рис. 8. Зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициента размагничивания  $W = f(N_{ц.пр})$ , рассчитанные с помощью формул Окоши (а) и Розенблата (б), а также зависимость изменения коэффициента распределения внутренних напряжений в образцах гомогенных сталей Франции от коэффициента размагничивания  $K_a = f(N_{ц.пр})$  (в), рассчитанные для следующих марок:

1 – «MARS 190 (C2=0,3 – 0,33%)»; 2 – «MARS 240»; 3 – «MARS 270»; 4 – «MARS 300»

Анализ рис. 7 позволяет сделать заключение о том, что с увеличением процентного содержания углерода в гомогенных сталях типа MARS намагниченность их насыщения снижается. Увеличение толщины листов также не влияет на наклон анализируемых характеристик.

Анализ рис. 8, а, б позволяет сделать заключение о том, что при постоянстве длины и ширины исследуемых образцов гомогенной стали  $l$  и  $b = const$  увеличение толщины  $d$  приводит к увеличению коэффициента размагничивания, магнитоупругой и кристаллической энергии.

Увеличение коэффициента размагничивания также приводит к возрастанию коэффициента

распределения внутренних напряжений в исследуемых образцах стали (рис. 8, в).

При сравнительном анализе установлено, что абсолютное совпадение теоретических результатов расчета коэффициента размагничивания по формулам (3) и (4) имеют образцы гомогенных сталей Франции толщиной:

| Марка стали                 | l, м | b, м | d, м                |
|-----------------------------|------|------|---------------------|
| MARS 190 (C2 = 0,3 – 0,33%) | 0,1  | 0,05 | 0,002               |
| MARS 240                    |      |      | 0,002; 0,038        |
| MARS 270                    |      |      | 0,002               |
| MARS 300                    |      |      | 0,002; 0,006; 0,008 |

Неудовлетворительные результаты расчета коэффициента размагничивания по указанным формулам наблюдаются для образцов гомогенной стали толщиной:

| Марка стали                | $l, м$ | $b, м$ | $d, м$             |
|----------------------------|--------|--------|--------------------|
| MARS 190 ( $C2 = 0,3\%$ )  | 0,1    | 0,05   | 0,05; 0,051;       |
| MARS 190 ( $C2 = 0,33\%$ ) |        |        | 0,5                |
| MARS 240                   |        |        | 0,02; 0,038; 0,05  |
| MARS 270                   |        |        | 0,025; 0,05; 0,075 |

При указанной толщине образцов стали MARS 190; 240 и 270 формулы (3) и (4) дают значительное несовпадение результатов теоретических исследований.

При толщине образца стали MARS 190  $d = 0,5$  м формула (3) переводит значение коэффициента

размагничивания  $N_{ц.пр}$  в область отрицательных значений.

Обобщающий анализ показывает, что формула (4) дает значительное несовпадение результатов теоретических исследований для указанного ряда гомогенных сталей Швеции, Франции и справедлива в сравнительно малом диапазоне геометрических размеров стержней.

При изменении длины вышеуказанных образцов стали  $l = 0,01; 0,03; 0,05; 0,07$  и  $0,09$  м и толщины  $d$  в пределах от 0,002 до 0,5 м, неизменной ширине  $b = 0,05 м = const$ , зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициентов размагничивания  $W = f(N_{ц.пр})$ , рассчитанные по формуле (3), в отечественных и зарубежных марках специальных сталей примут вид, как показано на рис. 9, 10, 11, 12 и 13.

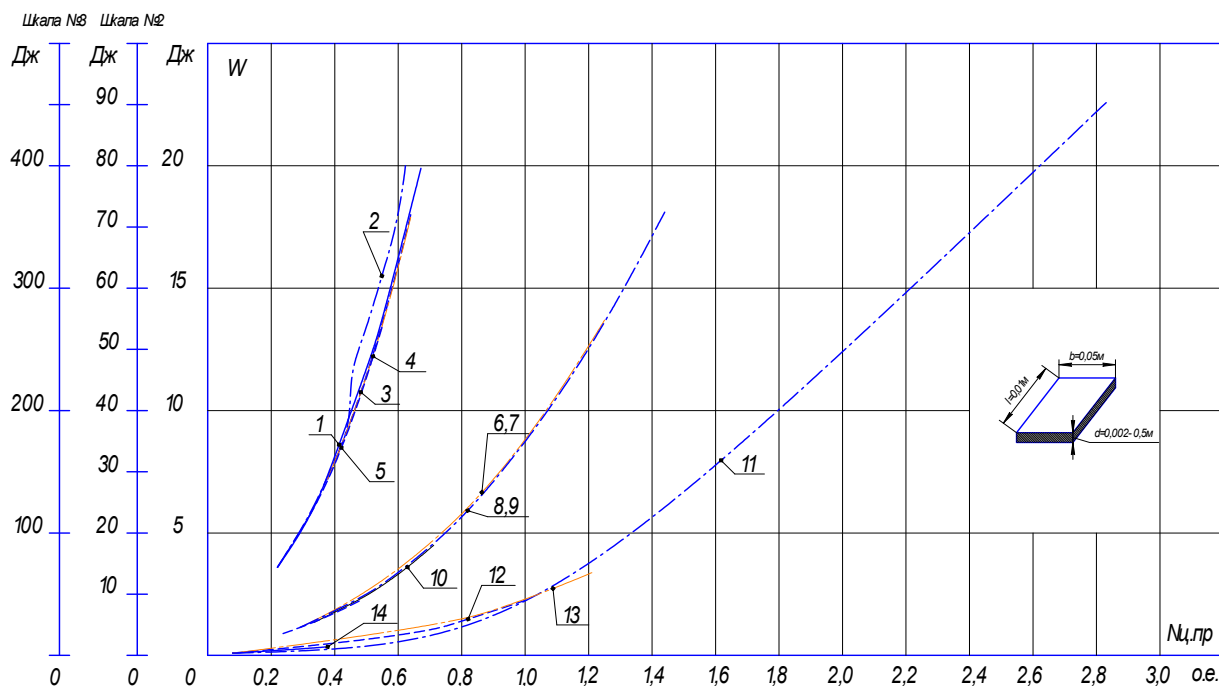


Рис. 9. Зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициента размагничивания  $W = f(N_{ц.пр})$ , рассчитанные по формуле (3) и построенные по шкале:

- №1 для отечественных марок стали: 1 – «2П»; 2 – «7»; 3 – «77»; 4 – «88»; 5 – «44»;  
 №2 для гомогенных сталей Швеции: 6 – «ARMOX 300S и 400S»; 7 – «ARMOX 370S и 500S»; 8 – «ARMOX 370S»;  
 9 – «ARMOX 560S»; 10 – «ARMOX 600S»;  
 №3 для гомогенных сталей Франции: 11 – «MARS 190 ( $C2=0,3 - 0,33\%$ )»; 12 – «MARS 240»; 13 – «MARS 270»;  
 14 – «MARS 300»

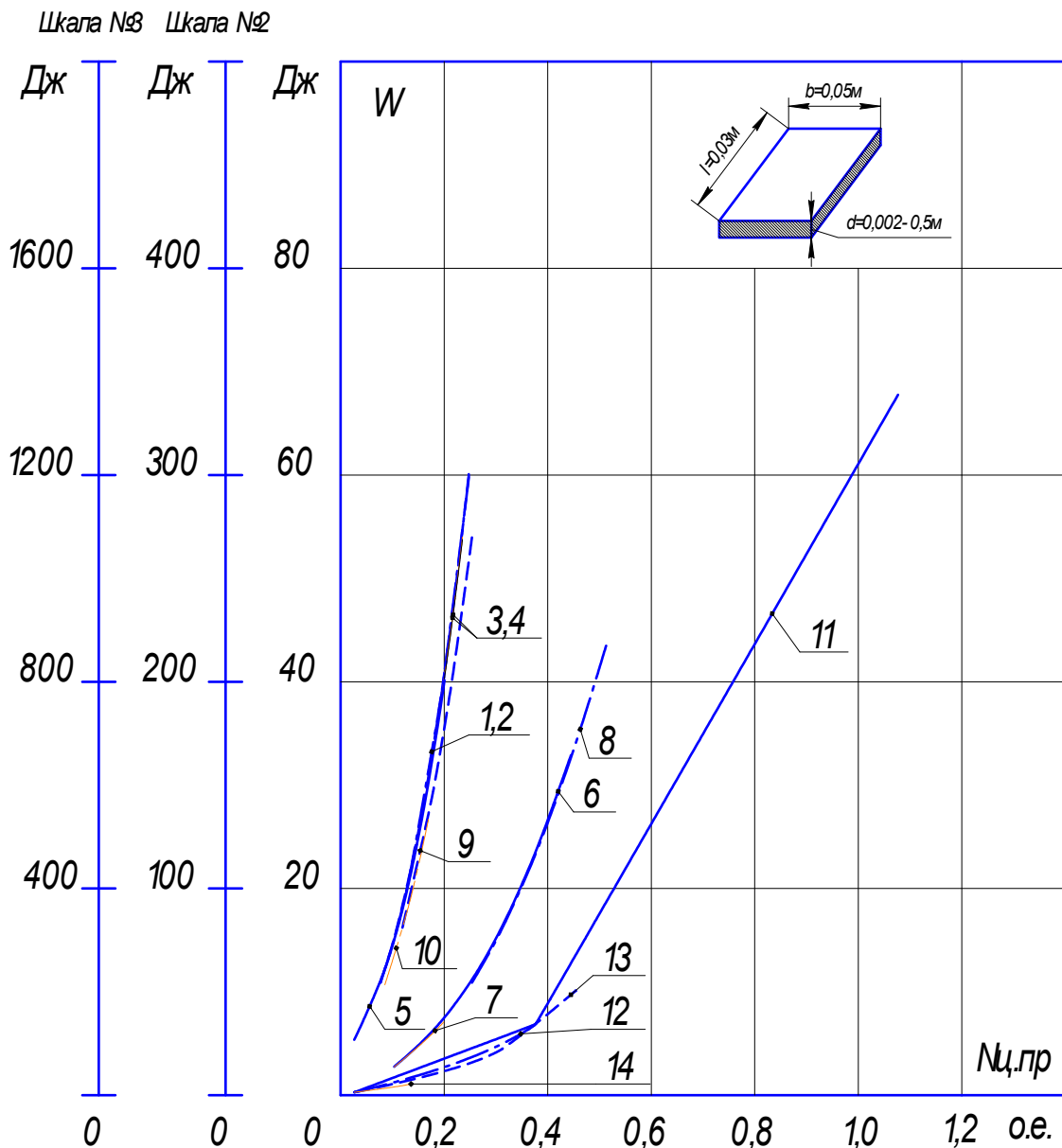


Рис. 10. Зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициента размагничивания

$W = f(N_{c,pr})$ , рассчитанные по формуле (3) и построенные по шкале:

№1 для отечественных марок стали: 1 – «2П»; 2 – «7»; 3 – «77»; 4 – «88»; 5 – «44»;

№2 для гомогенных сталей Швеции: 6 – «ARMOX 300S и 400S»; 7 – «ARMOX 370S и 500S»; 8 – «ARMOX 370S»; 9 – «ARMOX 560S»; 10 – «ARMOX 600S»;

№3 для гомогенных сталей Франции: 11 – «MARS 190 (C2=0,3 – 0,33%)»; 12 – «MARS 240»; 13 – «MARS 270»; 14 – «MARS 300»

Анализ рис. 8, а, 14, 15, 16 и 17 позволяет сделать заключение о том, что функции  $W = f(N_{c,pr})$  представляют возрастающие степенные зависимости.

Увеличение ширины и толщины образцов гомогенной стали  $b, d \rightarrow \infty$  при неизменной длине  $l = const$  приводит к возрастанию коэффициентов размагничивания  $N_{c,pr}$  в исследуемых образцах,

растяжению графиков функции  $W = f(N_{c,pr})$  в направлении оси  $ON_{c,pr}$  (абсцисс) и увеличению в них кристаллической и магнитоупругой энергии, препятствующей энергии обменного взаимодействия и энергии, увеличивающей размеры доменов при намагничивании.

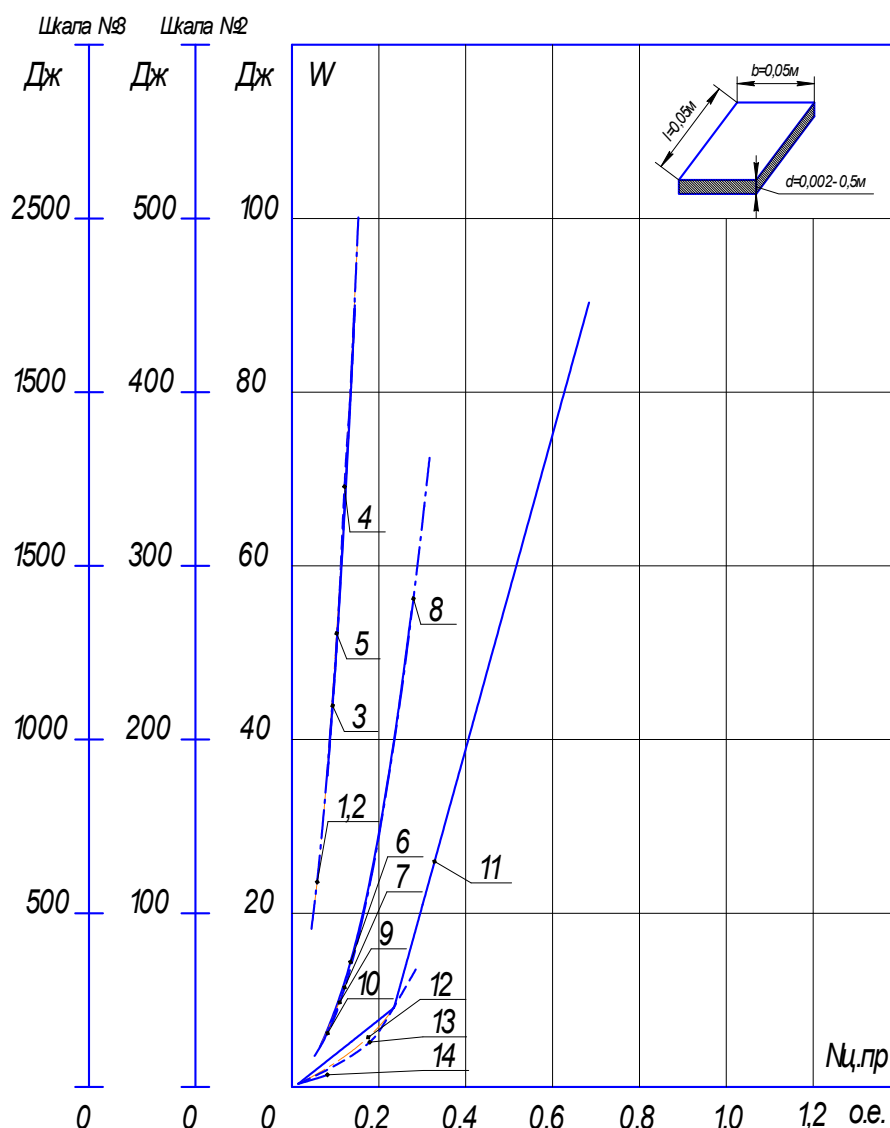


Рис. 11. Зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициента размагничивания  $W = f(N_{c,pr})$ , рассчитанные по формуле (3) и построенные по шкале:

№1 для отечественных марок стали: 1 – «2П»; 2 – «7»; 3 – «77»; 4 – «88»; 5 – «44»;

№ 2 для гомогенных сталей Швеции: 6 – «ARMOX 300S и 400S»; 7 – «ARMOX 370S и 500S»; 8 – «ARMOX 370S»; 9 – «ARMOX 560S»; 10 – «ARMOX 600S»;

№ 3 для гомогенных сталей Франции: 11 – «MARS 190 (C2=0,3 – 0,33%)»; 12 – «MARS 240»; 13 – «MARS 270»; 14 – «MARS 300»

Анализ рис. 9, 10, 11, 12 и 13 позволяет сделать заключение о том, что функции  $W = f(N_{c,pr})$  представляют возрастающие степенные зависимости.

Увеличение длины и толщины образцов гомогенной стали  $l, d \rightarrow \infty$  и неизменной ширине  $b = const$  приводит к снижению коэффициентов размагничивания  $N_{c,pr}$  в исследуемых образцах, сжатию графиков функции  $W = f(N_{c,pr})$  в направлении оси  $ON_{c,pr}$  (абсцисс) и увеличению в них кристаллической и магнитоупругой энергии, препятствующей энергии обменного

взаимодействия и энергии, увеличивающей размеры доменов при намагничивании.

При изменении ширины в вышеуказанных образцах стали  $b = 0,01; 0,03; 0,05; 0,07$  и  $0,09$  м, и толщины  $d$ , в пределах (от 0,002 до 0,5 м), неизменной длине  $l = 0,1$  м = const, зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициентов размагничивания  $W = f(N_{c,pr})$ , рассчитанные по формуле (3), в отечественных и зарубежных марках специальных сталей примут вид, как показано на рис. 14, 15, 16, 17 и 18.

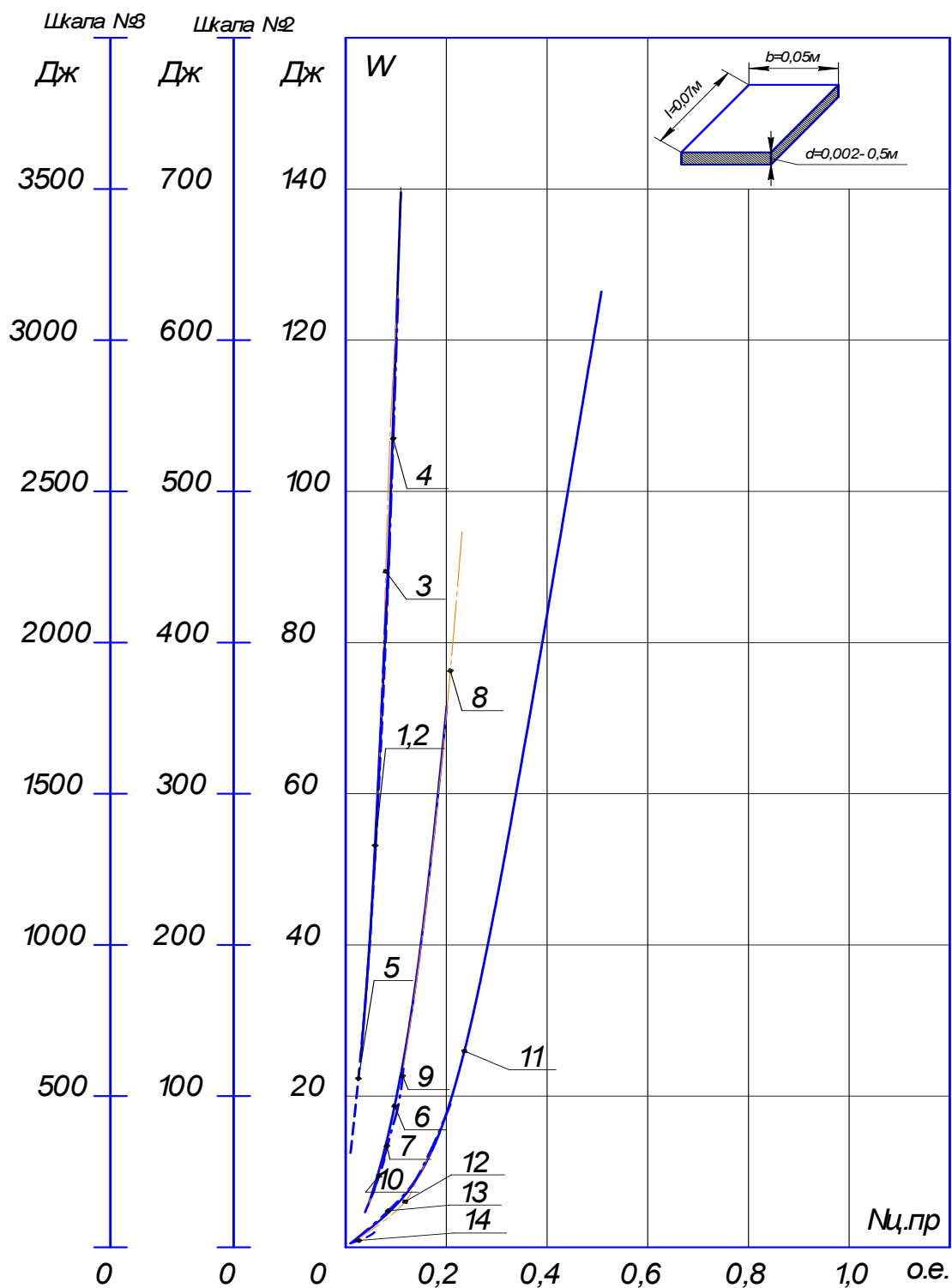


Рис. 12. Зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии

от коэффициента размагничивания  $W = f(N_{ц.пр})$ , рассчитанные по формуле (3) и построенные по шкале:

№1 для отечественных марок стали: 1 – «2П»; 2 – «7»; 3 – «77»; 4 – «88»; 5 – «44»;

№2 для однородных сталей Швеции: 6 – «ARMOX 300S и 400S»; 7 – «ARMOX 370S и 500S»; 8 – «ARMOX 370S»; 9 – «ARMOX 560S»; 10 – «ARMOX 600S»;

№3 для однородных сталей Франции: 11 – «MARS 190 (C2=0,3 – 0,33%)»; 12 – «MARS 240»; 13 – «MARS 270»; 14 – «MARS 300»

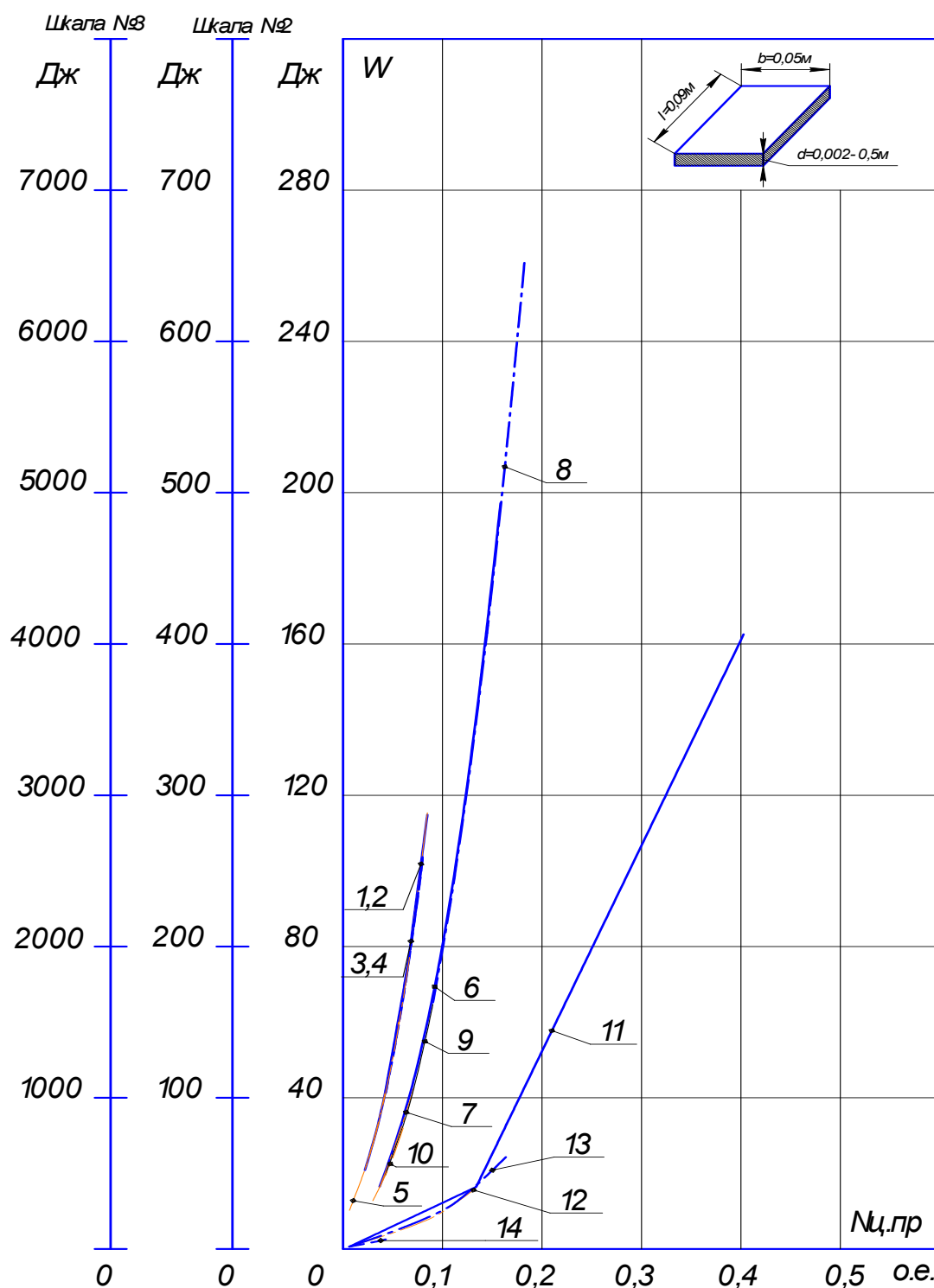


Рис. 13. Зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициента размагничивания  $W = f(N_{ц.пр})$ , рассчитанные по формуле (3) и построенные по шкале:

№1 для отечественных марок стали: 1 – «2П»; 2 – «7»; 3 – «77»; 4 – «88»; 5 – «44»;  
 №2 для гомогенных сталей Швеции: 6 – «ARMOX 300S и 400S»; 7 – «ARMOX 370S и 500S»; 8 – «ARMOX 370S»;  
 9 – «ARMOX 560S»; 10 – «ARMOX 600S»;  
 №3 для гомогенных сталей Франции: 11 – «MARS 190 (C2=0,3 – 0,33%)»; 12 – «MARS 240»; 13 – «MARS 270»;  
 14 – «MARS 300»

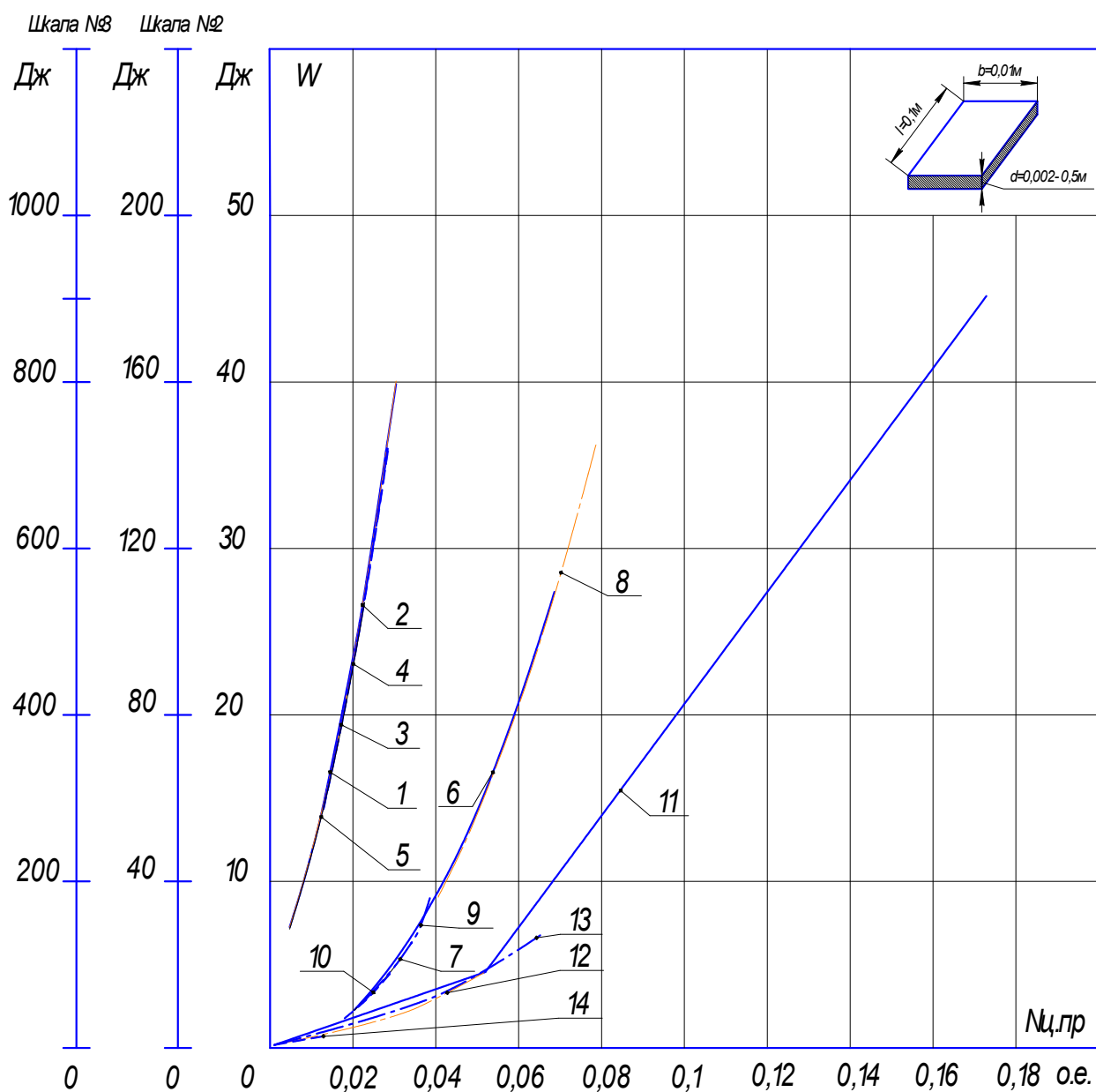


Рис. 14. Зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициента размагничивания  $W = f(N_{ц,пр})$ , рассчитанные по формуле (3) и построенные по шкале:

№1 для отечественных марок стали: 1 – «2П»; 2 – «7»; 3 – «77»; 4 – «88»; 5 – «44»;

№2 для однородных сталей Швеции: 6 – «ARMOX 300S и 400S»; 7 – «ARMOX 370S и 500S»; 8 – «ARMOX 370S»; 9 – «ARMOX 560S»; 10 – «ARMOX 600S»;

№3 для однородных сталей Франции: 11 – «MARS 190 (C2=0,3 – 0,33%)»; 12 – «MARS 240»; 13 – «MARS 270»; 14 – «MARS 300»

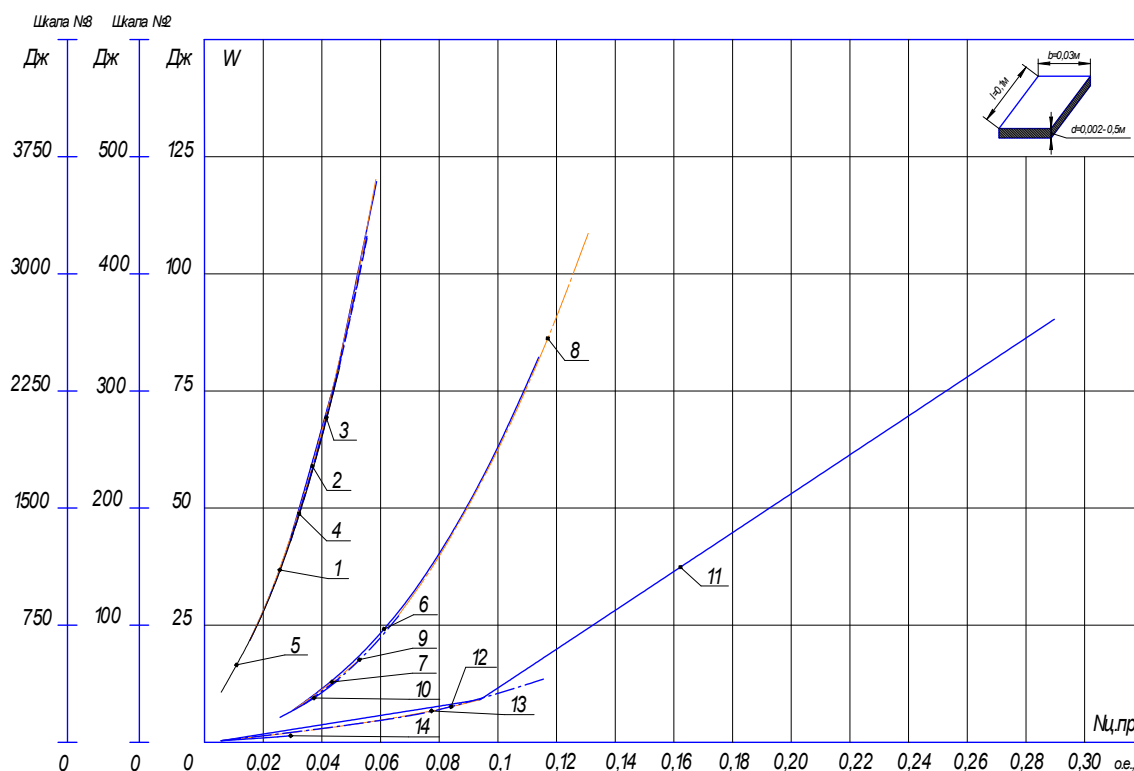


Рис. 15. Зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициента размагничивания  $W = f(N_{u, np})$ , рассчитанные по формуле (3) и построенные по шкале:

№1 для отечественных марок стали: 1 – «2П»; 2 – «7»; 3 – «77»; 4 – «88»; 5 – «44»;  
 №2 для однородных сталей Швеции: 6 – «ARMOX 300S и 400S»; 7 – «ARMOX 370S и 500S»; 8 – «ARMOX 370S»;  
 9 – «ARMOX 560S»; 10 – «ARMOX 600S»;  
 №3 для однородных сталей Франции: 11 – «MARS 190 (C2=0,3 – 0,33%)»; 12 – «MARS 240»; 13 – «MARS 270»;  
 14 – «MARS 300»

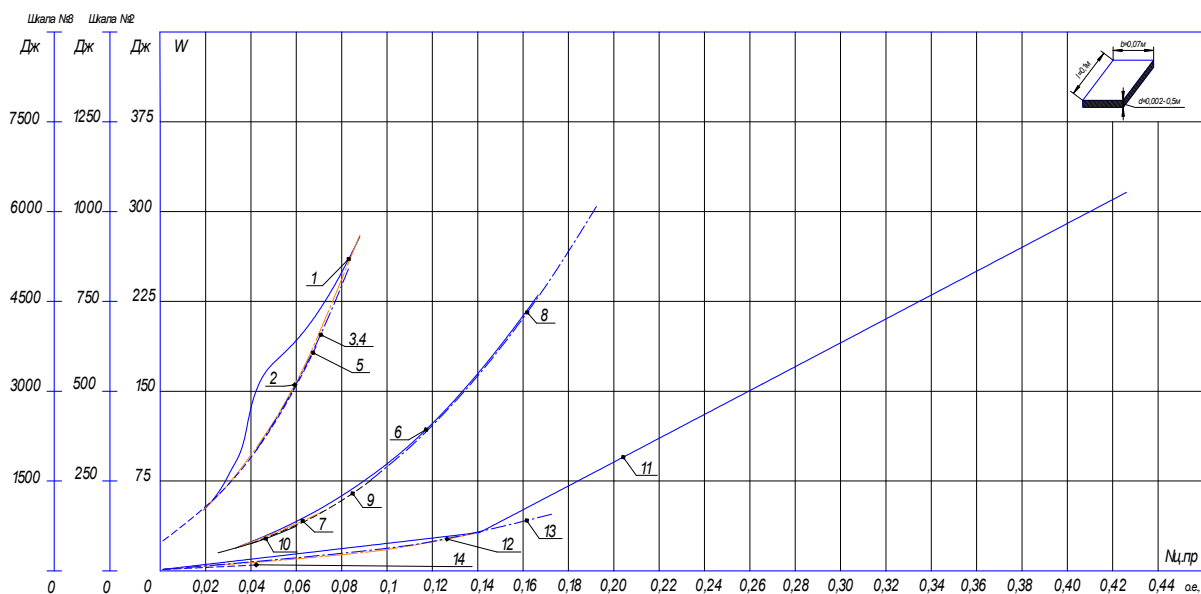


Рис. 16. Зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициента размагничивания  $W = f(N_{u, np})$ , рассчитанные по формуле (3) и построенные по шкале:

№1 для отечественных марок стали: 1 – «2П»; 2 – «7»; 3 – «77»; 4 – «88»; 5 – «44»;  
 №2 для однородных сталей Швеции: 6 – «ARMOX 300S и 400S»; 7 – «ARMOX 370S и 500S»; 8 – «ARMOX 370S»;  
 9 – «ARMOX 560S»; 10 – «ARMOX 600S»;  
 №3 для однородных сталей Франции: 11 – «MARS 190 (C2=0,3 – 0,33%)»; 12 – «MARS 240»; 13 – «MARS 270»;  
 14 – «MARS 300»

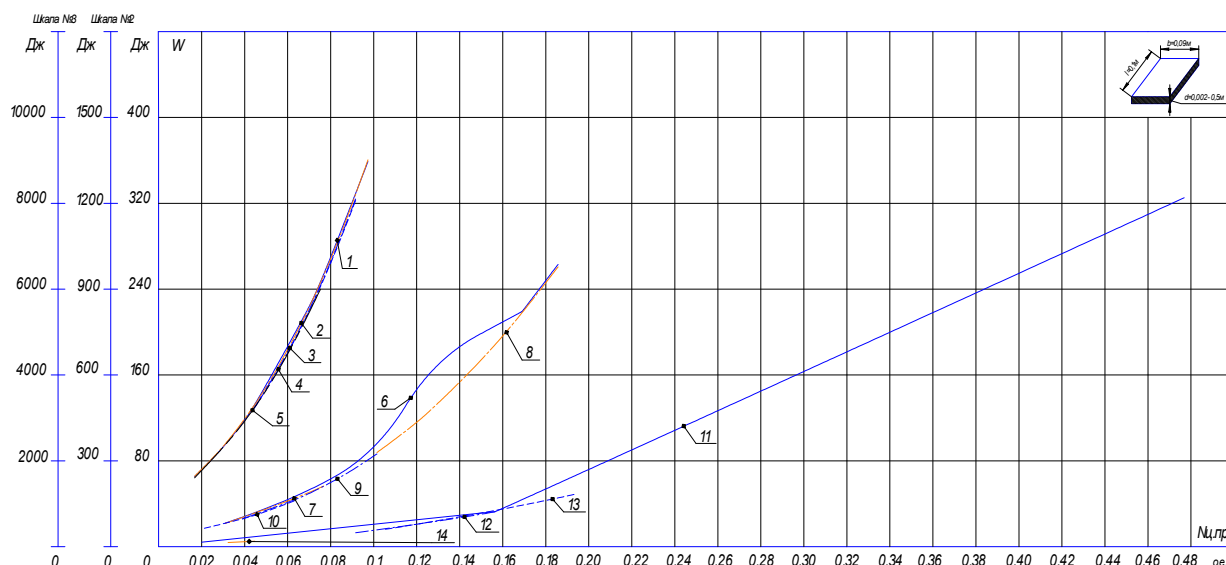


Рис. 17. Зависимости изменения магнитоупругой и кристаллической энергии от коэффициента размагничивания

$W = f(N_{u, np})$ , рассчитанные по формуле (3) и построенные по шкале:

№1 для отечественных марок стали: 1 – «2П»; 2 – «7»; 3 – «77»; 4 – «88»; 5 – «44»;

№2 для гомогенных сталей Швеции: 6 – «ARMOX 300S и 400S»; 7 – «ARMOX 370S и 500S»; 8 – «ARMOX 370S»; 9 – «ARMOX 560S»; 10 – «ARMOX 600S»;

№3 для гомогенных сталей Франции: 11 – «MARS 190 (C2=0,3 – 0,33%)»; 12 – «MARS 240»; 13 – «MARS 270»; 14 – «MARS 300»

При сравнении двух образцов гомогенной стали, имеющих разную длину  $l_1$  и  $l_2$ , ширину  $b_1$  и  $b_2$  и толщину  $d_1$  и  $d_2$ , установлено, что при:

1)  $l_1 = b_2 = 0,1\text{м}$ ;  $l_2 = b_1 = 0,01\text{м}$ ,  $d_1 = d_2 > 0,002$  м отношение кристаллической и магнитоупругой энергии образцов остается неизменным, так как  $W_1/W_2 = 1$ , а отношение коэффициентов размагничивания у образцов:

– отечественных гомогенных сталей  $N_1/N_2 = 0,03 \div 0,04$ ;

– гомогенных сталей Швеции  $N_1/N_2 = 0,04 \div 0,13$ ;

– гомогенных сталей Франции  $N_1/N_2 = 0,01 \div 0,05$ .

2)  $l_1 = b_2 = 0,03\text{м}$ ;  $l_2 = b_1 = 0,1\text{м}$ ,  $d_1 = d_2 > 0,002$  м отношение кристаллической и магнитоупругой энергии образцов остается неизменным, так как  $W_1/W_2 = 1$ , а отношение коэффициентов размагничивания у образцов:

– отечественных гомогенных сталей  $N_1/N_2 = 2,5 \div 6,0$ ;

– гомогенных сталей Швеции  $N_1/N_2 = 3,0 \div 5,5$ ;

– гомогенных сталей Франции  $N_1/N_2 = 5,0 \div 5,7$ .

3)  $l_1 = b_2 = 0,1\text{м}$ ;  $l_2 = b_1 = 0,05\text{м}$ ,  $d_1 = d_2 > 0,002$  м отношение кристаллической и магнитоупругой энергии образцов остается неизменным, так как  $W_1/W_2 = 1$ , а отношение коэффициентов размагничивания у образцов:

– отечественных гомогенных сталей  $N_1/N_2 = 0,4 \div 0,7$ ;

– гомогенных сталей Швеции  $N_1/N_2 = 0,4 \div 0,8$ ;

– гомогенных сталей Франции  $N_1/N_2 = 0,4$ .

4)  $l_1 = b_2 = 0,1\text{м}$ ;  $l_2 = b_1 = 0,07\text{м}$ ,  $d_1 = d_2 > 0,002$  м отношение кристаллической и магнитоупругой энергии образцов остается неизменным, так как  $W_1/W_2 = 1$ , а отношение коэффициентов размагничивания у образцов:

– отечественных гомогенных сталей  $N_1/N_2 = 0,6 \div 1,0$ ;

– гомогенных сталей Швеции  $N_1/N_2 = 0,6 \div 1,0$ ;

– гомогенных сталей Франции  $N_1/N_2 = 0,6$ .

5)  $l_1 = b_2 = 0,09\text{м}$ ;  $l_2 = b_1 = 0,05\text{м}$ ,  $d_1 = d_2 > 0,002$  м отношение кристаллической и магнитоупругой энергии образцов остается неизменным, так как  $W_1/W_2 = 1$ , а отношение коэффициентов размагничивания у образцов:

– отечественных гомогенных сталей  $N_1/N_2 = 0,4 \div 0,6$ ;

– гомогенных сталей Швеции  $N_1/N_2 = 0,4 \div 0,7$ ;

– гомогенных сталей Франции  $N_1/N_2 = 0,4 \div 0,5$ .

Однако при толщине образцов стали «44», MARS 190 – MARS 300  $d \leq 2$  мм формула (3) переводит значение коэффициента размагничивания  $N_{u, np}$  в область отрицательных значений, тем самым противоречит гипотезе адекватности.

Таким образом, формулы (3) и (4) нуждаются в совершенствовании, так как их компоненты не учитывают малую толщину образцов стали.

**Выводы:** В результате проведенных исследований получены следующие научные результаты:

1. Установлен диапазон геометрических параметров для стержней, выполненных из однородных сталей отечественного и зарубежного производства, используемых для защиты многоцелевых гусеничных и колесных машин. Подстановка параметров последних в формулы по определению коэффициента размагничивания Окоши дают приемлемую точность расчета.

2. Формула Розенблата по определению коэффициента размагничивания для указанного ряда однородных сталей отечественного и зарубежного производства дает значительные погрешности в расчетах, тем самым противоречит гипотезе адекватности.

3. Для повышения точности расчета коэффициента размагничивания следует учесть влияние параметров источников магнитного поля, а также провести теоретические исследования квазистационарных полей в образцах однородной стали с привлечением современных методов анализа полей в неоднородных и нелинейных средах с обработкой их результатов на основе применения средств вычислительной техники.

4. Для повышения точности измерений магнитных свойств в однородных броневых сталях, используемых для защиты многоцелевых гусеничных и колесных машин необходима разработка методов фазового анализа сталей в сильных магнитных полях интенсивностью  $H \geq 1,6 \cdot 10^6$  А/м, без применения эталонных образцов, путем измерения нескольких параметров, характеризующих законы подхода к насыщению исследуемого материала.

5. Для рассматриваемой проблемы анализа поля наиболее предпочтительным является метод интегральных уравнений на основе некоторых допущений относительно магнитной среды и топографии поля.

6. При практической реализации безэталонного фазового анализа сталей необходимо проводить:

- измерения с высокой точностью зависимости намагниченности контролируемого материала от напряженности магнитного поля;
- разработку метода дифференциальной магнитной восприимчивости в области подхода к насыщению;
- автоматизацию процессов исследования и обработку их результатов на основе применения средств вычислительной техники;
- разработку практических методик фазового анализа сталей с учетом возможностей IBM PC.

## Л и т е р а т у р а

1. Кармазин, В.И. Магнитные методы обогащения/ В.И. Кармазин, В.В. Кармазин. – М: Недра. – 1984. – 490 с.
2. Апаев, Б.А. Фазовый магнитный анализ сплавов/ Б.А. Апаев. – М.: Металлургия. – 1976. – 280 с.;
3. Okoshi Jakanori. Demagnetizing Factors of Rods and Jubes Computed from Analoes Measurments. I of applicol physics. 36, 1965.– №8. – Р. 2382 – 2387.
4. Юрко, С.В. 125-мм танковая пушка 2А46М: пособие для курсантов учреждений высшего образования специальности 1-37 01 04-02 «Многоцелевые гусеничные и колесные машины (эксплуатация и ремонт бронетанкового вооружения и техники)/ С.В.Юрко, А.В. Безлюдько, Д.Н. Ильюшенко и др. – Минск: БНТУ, 2016 – 166 с.
5. <http://www.masters.donntu.org/2008/mech/trifonov/library/s12.htm>.
6. Захаров, В.А. О коэффициентах намагничивания и размагничивания ферромагнитных тел/ В.А. Захаров// Журнал Электричество. – М.: Изд- во ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, 1991. – № 10. – С.68 – 71.
7. Братковский, Е.В. Специальные стали: Учебное пособие/ Е.В. Братковский, А.В. Заводяный, и др. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2013 – 87 с.
8. Розенблат, М.А. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники/ М.А. Розенблат. – М.: Наука. – 1966. – 542 с.
9. Апаев, Б.А. Применение магнитного фазового анализа для раздельного определения связанного и свободного углерода / Б.А. Апаев, Б.М. Яковлев// Физика металлов и металловедение. – т.10. – 1960. – № 4. – С 527–533.
10. Геллер, Ю.А. Об определении количества остаточного аустенита магнитным методом// Заводская лаборатория. – т. 21. – 1995. – № 2.– С.177 – 181.
11. Войцехович, Л.Н., Ковашевич, И.П., Костюковский, О.А., Трусов, Н.К. Разработка метода и создание автоматической установки для испытания магнитотвердых и магнитомягких материалов на стержневых образцах. Отчет по НИР, Б467027. – Минск: ОФНК АН БССР, 1975.
12. Андриевский, Е.А. Коэрцитиметр для магнитотвердых материалов с пределом измерений 150 кА/м /Е.А. Андриевский, Я.Ф. Непокрытый// В книге: Повышение точности и автоматизации электрических и магнитных измерительных устройств. – К., 1968. – С. 165 – 171.
13. Войцехович, Л.Н. Процессы намагничивания и контроля фазового состава, гетерогенных материалов в области подхода к насыщению. «Новые физические методы и средства контроля промышленных изделий». Материалы II Белорусской научно-технической конференции). – Минск: ОФНК АН БССР, 1978. – С. 84 – 89.
14. Гринберг, Г.А. Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений/ Г.А. Гринберг. – М.: Физматиз. – 1962. – 727 с.
15. Геллер, Ю.А. Металловедение/Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт – М.: Металлургия. – 1983. – 168 с.

**Parsentev O.S.**

**INFLUENCE OF THE SHAPE OF SAMPLES OF SPECIAL STEEL USED FOR PROTECTION MULTI-PURPOSE TRACKED AND WHEELED VEHICLES ON THE CHARACTERISTICS OF THEIR OWN MAGNETIC FIELD**

*Despite the great scientific and technical importance, many aspects of the physics of the ferromagnetic properties of*

special steels have not yet been sufficiently studied. This is especially true for the issues of the nature and mechanism of magnetization and remagnetization, which makes it difficult to solve applied problems to improve the working and technological properties of materials, the development of new materials with predetermined characteristics.

One of the most important properties of a ferromagnetic material is the spontaneous magnetization of individual regions (domains), which practically manifests itself in the form of saturation magnetization. The remaining magnetic properties, namely the magnetization curve, magnetic permeability, coercive force, magnetic energy, etc., are related to the saturation magnetization value.

In this work, theoretical studies were carried out on samples of special steels of domestic and foreign production, used for armoring multi-purpose tracked and wheeled vehicles. Depending on the change in the geometric parameters of the steel samples, the value of the demagnetization coefficient was determined using the Okoshi and Rosenblat formulas, including the value of the magnetoelastic and crystalline energy.

As a result of the research, it was found that with a steel sample thickness of more than 2 mm, the calculations of the demagnetization coefficient using the Okoshi formula give satisfactory results, in comparison with the calculation results carried out using the Rosenblat formula.

However, when the thickness of samples of homogeneous steel is less than 2 mm, the results of the

calculation carried out according to the Okoshi formula contradict the hypothesis of adequacy and need to be improved.

**Key words:** sample, homogeneous steel plate, rolled armor, multi-purpose wheeled and tracked vehicles, saturation magnetization, demagnetization coefficient, magnetoelastic and crystalline energy, coercive force.

**Парсентьев Олег Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.  
**E-mail:** parsentevo@mail.ru

**Parsentev Oleg Sergeevich**, docent, candidate of technical science of the Department of «Electrical Power Engineering», SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

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

Статья подана 15.02.2022

УДК 621.9.048

# АКУСТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕФЛЕКТОРА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА МЕЛКОГАБАРИТНЫЕ ПЛОСКОСТНЫЕ ДЕТАЛИ ПРИ ОБРАБОТКЕ В «U»-ОБРАЗНОМ РЕЗЕРВУАРЕ ВИБРОСТАНКА

Рубаненко В.Ю., Мицык В.Я.

## ACOUSTIC RADIATION OF THE IMPACT OF THE DEFLECTOR OF THE WORKING MEDIUM ON SMALL-SIZED PLANAR PARTS DURING PROCESSING IN THE «U»-SHAPED TANK OF THE VIBRATION STATION

Rubanenko V. Yu., Mitsyk V. Y.

Указано, что поведение гранул среды при акустическом излучении, генерируемом дефлектором, аналогично поведению газа или жидкости. Отмечено, что колебательные движения воздействуют на гранулы абразива и приобретают кинетическую энергию, совершая в резервуаре движения, аналогичные движениям атомов или молекул газа. Представлено решение задачи о влиянии дефлектора на гранулы абразива. Приведена интерференционная картина суммарного поля давления дефлектора на обрабатываемые мелкогабаритные плоскостные детали.

**Ключевые слова:** виброобработка, «U»-образный резервуар, дефлектор, рабочая среда, мелкогабаритные плоскостные детали, акустическое поле.

Исследование акустического излучения, генерируемое «лопастями» дефлектора рабочей среды, основано на гипотезе, состоящей в том, что поведение гранул, находящихся под воздействием колебаний, аналогично поведению газа или жидкости.

Такая модель активно используется при описании псевдооживленного слоя [1, 2, 3]. В отличие от случая псевдооживленного слоя, когда газоподобная среда формируется в результате прокачки жидкости сквозь слой сыпучего материала, псевдогаз из абразивных гранул возникает под воздействием колебаний стенок резервуара и дефлектора.

Колебательное движение воздействует на гранулы абразива так, что они приобретают значительную кинетическую энергию и начинают совершать в объеме резервуара движения, аналогичные движению атомов или молекул газа.

Решение задачи о влиянии дефлектора на псевдогаз из гранул абразива сводится к нахождению параметров волны, излучаемой «бесконечным брусом» с излучающей поверхностью в виде боковой стенки резервуара с радиусом, равным половине ширины «лопасти» дефлектора. На рис. 1 представлена схема образования волн, генерируемых «лопастью» дефлектора.

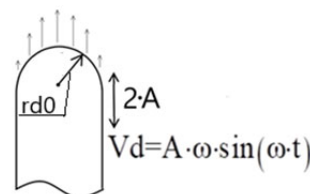


Рис. 1. Схема образования волн, генерируемых «лопастью» дефлектора:  $rd0$  – радиус закругленной части «лопасти» дефлектора;  $A$  – амплитуда колебательно-вращательного движения дефлектора и стенок резервуара;  $Vd$  – скорость колебательного движения «лопасти» дефлектора

Стрелки в верхней части рис. 1 условно показывают излучаемые «лопастью» дефлектора волны.

Для решения задачи о влиянии дефлектора на псевдогаз из гранул абразива необходимо воспользоваться волновым уравнением в полярных координатах [4]:

$$\frac{1}{rd} \cdot \frac{\partial}{\partial rd} \left( rd \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial rd} \right) + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial^2 \alpha} = \frac{1}{C^2} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial^2 t}, \quad (1)$$

где  $\Phi$  – любая характеристика звуковой волны. Так как излучающая поверхность движется по гармоническому закону, то волновое уравнение (2):

$$\Omega d = \frac{-\frac{A\omega}{2\pi} \left[ \cos \alpha^* - \cos \alpha_0 - \sin \alpha_0 \left( \alpha_0 - \alpha^* \right) \right]}{R}, \quad (2)$$

может быть заменено уравнением Гельмгольца для амплитудных значений функции  $\Phi$ :

$$\frac{1}{rd} \cdot \frac{\partial}{\partial rd} \left( rd \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial rd} \right) + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial^2 \alpha} = \frac{\omega^2}{C^2} \cdot \Phi = 0. \quad (3)$$

Нас интересуют такие характеристики звуковой волны, как давление и скорость среды. Для нахождения давления в любой точке необходимо учитывать величину, с которой оно стремится к бесконечности. В этом случае должны выполняться условия [5]:

$$\lim_{rd \rightarrow \infty} P = 0; \quad \lim_{rd \rightarrow \infty} rd \cdot \left( \frac{\partial P}{\partial rd} - i \cdot \omega \cdot P \right) = 0. \quad (4)$$

Решение уравнения (3) для давления, излучаемого поверхностью резервуара при  $rd = rd0$ , с учётом условий для давления на бесконечности (4) будет иметь вид [5]:

$$P = Cp \cdot H_1^{(1)}(k \cdot rd) \cdot \cos \alpha, \quad (5)$$

где,  $Cp$  – константа, определяемая из граничного условия,  $H_1^{(1)}(k \cdot rd)$  – функция Ханкеля первого рода первого порядка, которая является суперпозицией функций Бесселя и Неймана [6].

На цилиндрической поверхности «лопасти» дефлектора  $r=rd$ , (см. рис. 2) для давления должно выполняться следующее соотношение:

$$\frac{\partial P}{\partial rd} = i \cdot \rho \cdot \omega \cdot Vd0, \quad (6)$$

где  $Vd0$  – скорость перпендикулярная поверхности резервуара.

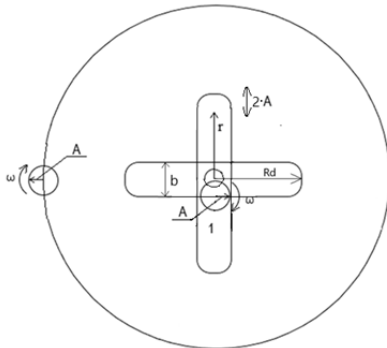


Рис. 2. Схема движения дефлектора

Для определения  $Vd0$  рассмотрим проекцию скорости колебаний «лопасти» дефлектора на направление, ортогональное цилиндрической поверхности. На рис. 3 показана схема распределения радиальной составляющей колебательной скорости стенки резервуара.

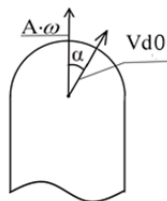


Рис. 3. Схема распределения радиальной составляющей колебательной скорости стенки резервуара

Из рис. 3 видно, что:

$$Vd0 = \omega \cdot A \cdot \cos \alpha. \quad (7)$$

Учитывая выражения (5) – (7), можно вывести соотношение для константы  $Cp$ :

$$Cp = \frac{i \cdot P \cdot \omega^2 \cdot A}{\left( \frac{\partial H_1^{(1)}}{\partial rd} \right)}. \quad (8)$$

На поверхности дефлектора длина звуковой волны равна:

$$\lambda = \frac{A \cdot \omega \cdot 2 \cdot \pi}{\omega} = 2 \cdot \pi \cdot A. \quad (9)$$

То есть величина  $k \cdot rd \geq \frac{2 \cdot \pi \cdot rd0}{\lambda} = \frac{rd0}{A} \gg 1$ . В

этом случае функция Ханкеля имеет следующую асимптотику [5]:

$$H_1^{(1)}(k \cdot rd) \approx \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot k \cdot rd}} \cdot e^{i \cdot \left( k \cdot rd - \frac{3}{4} \cdot \pi \right)}. \quad (10)$$

Учитывая соотношения (8) и (10), можно записать для константы  $Cp$  следующее выражение:

$$Cp \approx - \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot A \cdot \sqrt{\pi \cdot k \cdot rd0} \cdot \left( \frac{i}{2 \cdot rd0} - k \right)}{\sqrt{2} \cdot \left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd0^2} \right)} \times e^{-i \cdot \left( k \cdot rd0 - \frac{3}{4} \cdot \pi \right)}. \quad (11)$$

Запишем окончательное выражение для давления, исходя из соотношения (5), но без раскрытия константы  $Cp$ , ввиду громоздкости получающегося выражения.

$$P \approx Cp \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot k \cdot rd}} \cdot e^{i \cdot \left( k \cdot rd - \frac{3}{4} \cdot \pi \right)} \cdot \cos \alpha. \quad (12)$$

Из выражения (12) видно, что давление, генерируемое одной «лопастью» дефлектора, спадает медленно в зависимости от ее расстояния, как корень квадратный.

Выраженная соотношением величина является амплитудным значением давления. Полное выражение для давления в волне, создаваемой одной «лопастью» дефлектора в псевдогазе из абразивных гранул, будет иметь следующий вид:

$$P \approx C_p \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot k \cdot rd}} \cdot e^{i \cdot \left( k \cdot rd - \frac{3}{4} \cdot \pi \right)} \times \cos \alpha \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot rd). \quad (13)$$

Суммарное поле давления от всех «лопастей» дефлектора будет иметь сложную интерференционную картину. Однако длина волны в псевдогазе (см. соотношение 9) значительно меньше размеров обрабатываемых деталей, достигающих 100 мм. Кроме того, детали движутся относительно дефлектора. Поэтому при расчёте воздействия всего дефлектора на поверхность детали можно учитывать только осреднённую по времени и углу  $\alpha$  величину. При этом необходимо учитывать, что формула (13) справедлива только в диапазоне углов  $-\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ , так как нецилиндрические стенки «лопастей» дефлектора не генерируют волны и при значениях  $\alpha$  вне указанного интервала давление будет равным нулю.

Для определения воздействия дефлектора на обрабатываемые детали необходимо знать поле скоростей, создаваемых этим дефлектором. Найдём его из соотношения (6), которое справедливо для амплитудного значения давления и скорости не только при  $rd=rd_0$ , но и в случае любого значения  $rd$ :

$$Vr = \frac{-i}{\rho \cdot \omega} \cdot \frac{\partial P}{\partial rd}. \quad (14)$$

Для тангенциальной составляющей справедливо соотношение [7]:

$$V\tau = \frac{-i}{\rho \cdot \omega \cdot rd} \cdot \frac{\partial P}{\partial \alpha}. \quad (15)$$

$$\begin{aligned} Vr = \omega \cdot A \cdot \sqrt{\frac{rd_0}{rd}} \cdot \frac{(\cos(k \cdot (rd - rd_0)) + i \cdot \sin(k \cdot (rd - rd_0)))}{\left(k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd_0^2}\right)} \cdot \cos \alpha \times \\ \times i \cdot \left( \frac{k}{2} \cdot \left( \frac{1}{rd} - \frac{1}{rd_0} \right) + \left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd \cdot rd_0} \right) \right) = \omega \cdot A \cdot \sqrt{\frac{rd_0}{rd}} \cdot i \cdot \cos \alpha \times \\ \times \left[ \frac{\left( \left( \frac{k}{2} \cdot \left( \frac{1}{rd} - \frac{1}{rd_0} \right) \cdot \cos(k \cdot (rd - rd_0)) \right) + \left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd \cdot rd_0} \right) \cdot \sin(k \cdot (rd - rd_0)) \right)}{\left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd_0^2} \right)} \right] + \\ + \omega \cdot A \cdot \sqrt{\frac{rd_0}{rd}} \cdot \cos \alpha \times \\ \times \left[ \frac{\left( \left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd \cdot rd_0} \right) \cdot \cos(k \cdot (rd - rd_0)) - \frac{k}{2} \cdot \left( \frac{1}{rd} - \frac{1}{rd_0} \right) \cdot \sin(k \cdot (rd - rd_0)) \right)}{\left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd_0^2} \right)} \right]. \end{aligned} \quad (18)$$

Для дальнейших расчётов необходимо использовать только реальную часть выражения (18). Таким образом, получим формулу для

Распишем выражения (14) и (15) с учетом соотношений (11) и (12). Для нахождения радиальной составляющей скорости выпишем выражение для давления:

$$P = \rho \cdot \omega^2 \cdot A \cdot \sqrt{\frac{rd_0}{rd}} \cdot \frac{\left( k - \frac{i}{2 \cdot rd_0} \right)}{\left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd_0^2} \right)} \times e^{i \cdot k \cdot (rd - rd_0)} \cdot \cos \alpha. \quad (16)$$

Используя формулу (14), получим:

$$\begin{aligned} Vr = i \cdot \omega \cdot A \cdot \sqrt{\frac{rd_0}{rd}} \cdot \frac{\left( k - \frac{i}{2 \cdot rd_0} \right)}{\left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd_0^2} \right)} \times \\ \times \left( i \cdot k \cdot (rd - rd_0) \right) \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot rd} - i \cdot k \right) \cdot \cos \alpha = \\ = i \cdot \omega \cdot A \cdot \sqrt{\frac{rd_0}{rd}} \cdot \cos \alpha \cdot \frac{e^{i \cdot k \cdot (rd - rd_0)}}{\left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd_0^2} \right)} \times \\ \times \left( \frac{k}{2} \cdot \left( \frac{1}{rd} - \frac{1}{rd_0} \right) - i \cdot \left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd \cdot rd_0} \right) \right). \end{aligned} \quad (17)$$

Далее, раскрывая экспоненту и выделяя мнимую и реальную части выражения (17), получим:

зависимости амплитуды радиальной составляющей скорости волны, инициированной одной «лопастью» дефлектора:

$$\begin{aligned}
 V_{r_{real}} = \operatorname{Re} \left[ \frac{\omega \cdot A \cdot \sqrt{\frac{rd0}{rd}} \cdot \frac{(\cos(k \cdot (rd - rd0)) + i \cdot \sin(k \cdot (rd - rd0)))}{\left(k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd0^2}\right)} \cdot \cos \alpha \cdot \right. \\
 \left. \cdot i \cdot \left( \frac{k}{2} \cdot \left( \frac{1}{rd} - \frac{1}{rd0} \right) + \left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd \cdot rd0} \right) \right) \right] = \\
 = \omega \cdot A \cdot \sqrt{\frac{rd0}{rd}} \cdot \cos \alpha \cdot \\
 \frac{\left[ \left( \left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd \cdot rd0} \right) \cdot \cos(k \cdot (rd - rd0)) - \frac{k}{2} \cdot \left( \frac{1}{rd} - \frac{1}{rd0} \right) \cdot \sin(k \cdot (rd - rd0)) \right) \right]}{\left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd0^2} \right)}.
 \end{aligned} \quad (19)$$

Тангенциальная составляющая амплитуды скорости в волне, генерируемой дефлектором, выражается следующим соотношением:

$$\begin{aligned}
 V_{\tau} = i \cdot \omega \cdot \frac{A}{rd} \cdot \sqrt{\frac{rd0}{rd}} \cdot \frac{\left( k - \frac{i}{2 \cdot rd0} \right)}{\left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd0^2} \right)} e^{i \cdot k \cdot (rd - rd0)} \cdot \sin \alpha = \omega \cdot \frac{A}{rd} \cdot \sqrt{\frac{rd0}{rd}} \times \\
 \times \left( i \cdot k + \frac{1}{2 \cdot rd0} \right) \cdot \frac{[(\cos(k \cdot (rd - rd0)) + i \cdot \sin(k \cdot (rd - rd0)))]}{\left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd0^2} \right)} \cdot \sin \alpha.
 \end{aligned} \quad (20)$$

Реальная часть выражения (20) отображает искомую величину тангенциальной скорости:

$$\begin{aligned}
 V_{\tau_{real}} = \operatorname{Re} \left[ \frac{\omega \cdot \frac{A}{rd} \cdot \sqrt{\frac{rd0}{rd}} \cdot \left( i \cdot k + \frac{1}{2 \cdot rd0} \right) \cdot \left[ \frac{(\cos(k \cdot (rd - rd0)) + i \cdot \sin(k \cdot (rd - rd0)))}{\left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd0^2} \right)} \right] \cdot \sin \alpha}{\left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd0^2} \right)} \right] = \\
 = \omega \cdot \frac{A}{rd} \cdot \sqrt{\frac{rd0}{rd}} \cdot \frac{\left[ \frac{\cos(k \cdot (rd - rd0))}{2 \cdot rd0} - k \cdot \sin(k \cdot (rd - rd0)) \right]}{\left( k^2 + \frac{1}{4 \cdot rd0^2} \right)} \cdot \sin \alpha.
 \end{aligned} \quad (21)$$

**Вывод.** Таким образом, для расчёта воздействия дефлектора на обрабатываемую деталь достаточно знать осреднённую по времени и углу величину давления акустического поля. Опыт показывает, что обрабатываемые детали расположены равномерно в любой точке между дефлектором и стенкой резервуара. Поэтому для получения данных о влиянии дефлектора на качественно-количественные показатели результатов виброобработки можно воспользоваться осреднением по всему объёму резервуара вибростанка, подверженному воздействию колебаний дефлектора.

#### Л и т е р а т у р а

1. Protodyakonov IO, Chesnokov YuG (1982) *Gyrodynamics of fluidized layer*. Leningrad: Chemistry. p. 264 (in Russian)  
 Taganov IN (1979) *Modeling of Mass and*

*Energy Transfer. Nonlinear Systems*. Leningrad: Chemistry. p. 208 (in Russian).

2. Бабичев А.П., Бабичев И.А. *Основы вибрационной технологии*. - Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1998. - 624 с.

3. Гончаревич И.Ф., Фролов К.В. *Теория вибрационной техники и технологии*. М.: Наука, 1981. - 320 с.

4. Тихонов А. Н., Самарский А. А. *Уравнения математической физики: Учебное пособие..* - 6-е изд., испр. и доп.. - М.: Изд-во МГУ, 1999. - 798 с. - ISBN 5-211-04138-0.

5. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. *Уравнения в частных производных математической физики*. М.: Высшая школа, 1970. - 712 с.

6. И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев, *Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов*. М., "Наука", 1986 г., 544 с.

7. Мицык А.В. *Усовершенствование технологии отделочно-зачистной обработки крупногабаритных плоскостных изделий в "U" - образных контейнерах*

вибростанков: Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. - Харьков, 2007. - 319 с.

**Rubanenko V. Yu, Mitsyk V. Ya.**

**ACOUSTIC RADIATION OF THE IMPACT OF THE DEFLECTOR OF THE WORKING MEDIUM ON SMALL-SIZED PLANAR PARTS DURING PROCESSING IN THE "U"-SHAPED TANK OF THE VIBRATION STATION**

*It is indicated that the behavior of the medium granules under acoustic radiation generated by the deflector is similar to the behavior of a gas or liquid. It is noted that the oscillatory movements affect the abrasive granules and they acquire kinetic energy, performing movements in the tank similar to the movement of atoms or gas molecules. The solution of the problem of the influence of the deflector on the abrasive granules is presented. The interference pattern of the total deflector pressure field on the processed small-sized planar parts is given.*

**Keywords:** vibration treatment, "U"- shaped tank, deflector, working medium, small-sized planar parts, acoustic field.

**Рубаненко Виктория Юрьевна**, ассистент кафедры охраны труда и БЖД ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:**viktorija408@gmail.com

**Rubanenko Victoria Yurievna**, assistant of the department «Labor protection and life safety» of SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University»

**Мицык Владимир Яковлевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения и инженерного консалтинга ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:**tm.univer@yandex.ru

**Mitsyk Vladimir Yakovlevich**, candidate of technical Sciences, associate professor of the department «Mechanical engineering and engineering consulting» of SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University»

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

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 621.742.22

## ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ НА ЖИДКОСТЕКЛЬНОМ СВЯЗУЮЩЕМ С УПРАВЛЯЕМОЙ РАЗУПРОЧНЯЕМОСТЬЮ ЛИТЕЙНОГО СТЕРЖНЯ

Свинооров Ю.А., Гутько Ю.И.

### PRODUCTION OF STEEL CASTINGS ON A LIQUID-GLASS BINDER WITH CONTROLLED SOFTENING OF THE CASTING ROD

Svinoroev Yu.A., Gutko Yu.I.

Установлена принципиальная возможность использования разработанных комплексных разупрочняющих добавок на основе технического лигнина и каолиновой глины для жидкостеклянных стержневых смесей. Определено, что работа выбивки при использовании предлагаемых добавок снизится в 4-7 раз, что делает жидкостеклянную смесь сопоставимой по показателю выбиваемости со смоляными связующими.

Результативность представленной разработки оценивается: по показателям снижения затрат на материалы (оценочный экономический эффект 3, 513 млн. руб./год); по повышению экологической безопасности производства, за счет изъятия из технологического процесса источника образования вредных выбросов, фенолоформальдегидной смолы; по ресурсоэффективности предлагаемого технического решения; по реальной возможности импортозамещения. Предложенная разработка принята к внедрению на производстве.

**Ключевые слова:** литейные стержни, стальные отливки, смоляные связующие, жидкое стекло, разупрочняющая добавка, комплексное действие, РЕЗОЛ-СО2 процесс, оценка эффективности.

**Введение.** Главной причиной, сдерживающей применение жидкого стекла в качестве связующего для производства стальных отливок, является неудовлетворительная выбиваемость стержней на его основе [1], что приводит к высокому проценту брака (15-27%), а это неприемлемо в современных условиях [2,3].

**Цель работы** состояла в поиске эффективных добавок-разупрочнителей жидкостеклянных смесей для их практического применения в производстве стальных отливок.

**Изложение основного материала.** *Состояние проблемы.* Производство стальных отливок основано на использовании широкой номенклатуры разнообразных смоляных связующих [4, 5, 6].

Обеспечивая технологичность и качество, смоляные связующие существенно увеличивают себестоимость литья с одновременным ухудшением санитарно-гигиенических условий труда на рабочих местах и приводят к резкому осложнению

экологической обстановки в районах расположения подобных производств [7, 8].

Это проявляется в повышении уровня профессиональных заболеваний среди рабочих, сопровождается деградацией окружающей природной среды.

Установлено, что применение смол на фенольной основе ведет к росту разнообразных аллергических [9] и онкологических заболеваний [10].

Это характерно не только для производственного персонала, но и для населения, проживающего в непосредственной близости к промышленным предприятиям, применяющих в своем технологическом цикле указанные смоляные связующие [10, 11].

Такие результаты были получены при многолетнем исследовании изменения состояния здоровья рабочих и населения в Швеции [12].

Важность экологического императива-привела к тому, что в странах ЕС была принята специальная директива, регламентирующая состав смоляных связующих, применяемых в технологических процессах разных производств, не только литейных. В частности, это Директива 2010/75 / EU Европейского парламента и Совета от 24 ноября 2010 года: «О промышленных выбросах: комплексное предотвращение и контроль загрязнения» [13]. В России применение таких смол не ограничивается на законодательном уровне, что несет подобные серьезные угрозы по здоровью как для персонала предприятий, так и населения, проживающего в непосредственной близости.

Кроме этого, *современные* смоляные связующие, применяемые на предприятиях России, отвечающие повышенным требованиям к технологичности процесса производства отливок, изготавливаются из импортного исходного сырья, что в свою очередь, предопределяет их высокую стоимость [14, 15].

*Перспективные технологические решения производства отливок, без применения смоляных композиций.*

Известны научные разработки, позволяющие уйти от применения смоляных композиций, за счет

использования неорганических связующих материалов [16, 17, 18, 19].

Такой вариант, в случае его успешной реализации, устраняет факторы негативного влияния на персонал и заметно улучшает экологические показатели производства.

В современных российских условиях данный подход рассматривается, как инструмент комплексного решения производства отливок данной группы, включающий: снижение себестоимости, улучшение условий труда, обеспечение экологической безопасности производства [20, 21], возможности активного использования отечественных материалов для нужд литейных предприятий. Такой инновационный путь не только решает задачи импортозамещения, но и создает новые рабочие места за счет необходимости развития производства отечественных связующих материалов: жидкого стекла и разупрочняющих добавок. Это может быть достигнуто за счет вовлечения в технологический процесс производства отливок отечественных связующих материалов, незаслуженно вытесненных с литейного рынка связующих [22, 23].

Основной проблемой, препятствующей распространенному использованию жидкого стекла в качестве связующего для производства стальных отливок, является неудовлетворительная выбиваемость стержней и форм на их основе.

*Подходы к решению проблемы.* Динамика изменения прочностных характеристик

жидкостекляных связующих композиций характеризуется наличием двух максимумов прочности в процессе прогрева смеси при заливке литейной формы расплавом стали, при температурах 300 и 800<sup>0</sup>С, что обуславливает затрудненную выбиваемость литейных стержней. Предлагаемое технологическое решение основано на совмещении процессов деструкции компонентов модификатора с процессами, формирующими максимальную прочность жидкого стекла при его полиморфном превращении при прогреве смеси.

Учитывая масштабность применения связующих материалов в литейном производстве [22] и специфику полиморфизма жидкостекляных материалов в процессе нагрева, было предложено применить в качестве агентов – модификаторов разупрочнения комбинацию материалов, включающую блок компонентов, работающий на разупрочнение в диапазоне низких температур (200-300<sup>0</sup>С), и блок компонентов, работающий в диапазоне высоких температур (700-800<sup>0</sup>С).

Предлагаемое технологическое решение основано на совмещении процессов деструкции компонентов модификатора с процессами, формирующими максимальную прочность жидкого стекла при его полиморфном превращении при прогреве смеси. Концептуальная схема показывающая разупрочнение жидкостекляной смеси приведена на рис. 1.

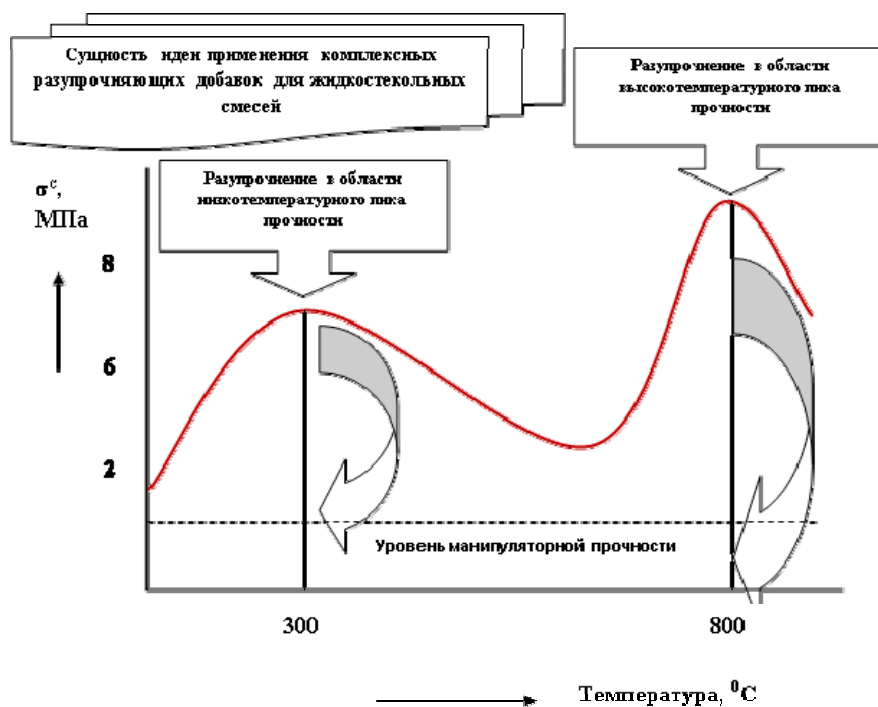


Рис. 1. Концепция разупрочнения жидкостекляных смесей

*Практика применения.* Исследование возможностей практического применения предлагаемого технического решения по разупрочнению жидкостекляного связующего,

проводилось на примере изготовления литейных стержней в технологическом процессе при производстве отливки «Упор передний УП-1» массой 104,5 кг. Сравнение проводилось с базовой

технологией производства литейных стержней по РЕЗОЛ-СО<sub>2</sub> процессу, применяющемуся на предприятии.

Состав предлагаемой/экспериментальной стержневой смеси для проведения опытно-промышленных испытаний представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Составы стержневых смесей для проведения опытно-промышленных испытаний и условия отверждения**

| Состав компонентов                                        | Предлагаемая/экспериментальная смесь, % (по массе) | Заводской состав смеси, % (по массе) РЕЗОЛ-СО <sub>2</sub> процесс. |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Наполнитель (1К02Б)                                       | 100                                                | 100                                                                 |
| Жидкое стекло (ГОСТ 13978-81, с силикатным модулем М-2,6) | 4,7                                                | -                                                                   |
| Сода                                                      | 1,0                                                | -                                                                   |
| Крошка асбеста                                            | 2,0                                                | -                                                                   |
| Разупрочняющая добавка                                    | 1,4                                                | -                                                                   |
| Карбофен ® 7170, ошелаченная фенолоформальдегидная смола  | -                                                  | 3,0                                                                 |
| Условие отверждения                                       | продувка СО <sub>2</sub>                           | продувка СО <sub>2</sub>                                            |

В качестве исходных материалов для приготовления экспериментальной смеси использовались: наполнитель – кварцевый песок марки 1К02Б Верхнеднепровского карьера, жидкое стекло (ЖС) с силикатным модулем 2,6,

технологические добавки (асбестовая крошка, сода), а также предлагаемая разупрочняющая добавка.

Физико-механические показатели исследуемых смесей представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Физико-механические показатели исследуемых смесей**

| Свойства                                                    | Предлагаемая смесь, % (по массе)                                                                                                                                              | Заводской состав смеси, % (по массе)                                                                     |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Сырая» прочность на сжатие, кг/см <sup>2</sup>             | 0,27                                                                                                                                                                          | 0,23                                                                                                     |
| Влажность, %                                                | 3,6                                                                                                                                                                           | 2,7                                                                                                      |
| Газопроницаемость, ед.                                      | 318                                                                                                                                                                           | 343                                                                                                      |
| «Сухая» прочность на разрыв высушенных образцов, МПа        | 3,13                                                                                                                                                                          | 3,76                                                                                                     |
| Выбиваемость (визуально, после извлечения отливки из формы) | Отработанная смесь (после заливки, охлаждения и выбивки) литейного стержня высыпалась при незначительном постукивании по корпусу отливки, выбивка не представляла затруднений | Отработанная смесь (после заливки, охлаждения и выбивки) литейного стержня высыпалась из полости отливки |

Все технологические операции: приготовление смеси, формовка, протяжка, отверждение стержня, сборка литейной формы, заливка стали, охлаждение и извлечение отливки, выполнялось согласно технологическому регламенту предприятия.

Отработанная экспериментальная смесь литейного стержня высыпалась при незначительном

постукивании по корпусу отливки, выбивка не представляла затруднений. Полученная отливка, «Упор передний УП-1» массой 145 кг., имела чистую поверхность без пригара и поверхностных дефектов (см. рис. 2.).



Рис. 2. Вид отливки «Упор передний, УП-1», полученная по предложенной технологии, на жидкостекольной смеси с управляемой разупрочняемостью

Полученные результаты позволяют применения предлагаемого технического решения констатировать принципиальную возможность по изготовлению литейных стержней на жидком

стекле, модифицированном комплексной разупрочняющей добавкой для производства отливок из стали.

**Результативность/эффекты предлагаемого решения** можно оценить по нескольким направлениям:

1) снижение себестоимости смеси (конечной продукции – отливки), за счет применения значительно более низкого по стоимости жидкого стекла, по сравнению со смолой;

2) снижение токсичных выбросов в окружающую среду на этапах производства отливки, за счет изъятия из технологии потенциального источника – фенолоформальдегидной смолы, в случае перехода на технологию использующую предлагаемое техническое решение;

3) повышение ресурсоэффективности производства, за счет перехода на более дешёвое по стоимости связующее, без существенных изменений в технологическом процессе производства отливок;

4) переход/переналадка технологии на использование отечественного (российского) продукта – жидкого стекла находится в приоритетах развития государства. Это входит в программы импортозамещения:

<http://government.ru/department/314/events/>. Следует отметить, что применяемая смола Карбофен® 7170 производится в России на совместном российско-германском предприятии «Уралхимпласт – Хюттенес Альбертус» (УСР-НА), но компоненты для ее производства полностью, на 100%, ввозятся из стран Европейского Союза, что ставит отечественное производство в уязвимое положение.

**Выводы.** По итогам работы установлена принципиальная возможность использования разработанных комплексных разупрочняющих добавок на основе технического лигнина и каолиновой глины для жидкостекольных стержневых смесей.

Определено, что работа выбивки при использовании предлагаемых добавок снизится в 4-7 раз, что делает жидкостекольную смесь сопоставимой по показателю выбиваемости со смоляными связующими.

Результативность представленной разработки оценивается:

1) по показателям снижения затрат на материалы (оценочный экономический эффект 3, 513 млн руб/год);

2) по повышению экологической безопасности производства, за счет изъятия из технологического процесса источника образования вредных выбросов, фенолоформальдегидной смолы;

3) по ресурсоэффективности предлагаемого технического решения;

4) по реальной возможности импортозамещения.

Предложенная разработка принята к внедрению на производстве.

## Литература

1. Литейное производство: учеб. / В.Д. Белов [и др.]; под общ. ред. В.Д. Белова. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: изд. Дом МИСиС, 2015. – 487с.

2. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия : справочник / [Болдин А. Н. , Давыдов Н. И. , Жуковский С. С. и др.] – М.: Машиностроение, 2006. - 507 с.

3. Технология литейного производства: учебное пособие для практических занятий / А.И. Батышев, В.Д. Белов, К.А. Батышев, С.А. Сироткин, П.Д. Смялянец, Ю.А. Свиногоев, В.Д. Рябичев, Гутько Ю.И. – Москва, Луганск: Изд-во «Перо»/ Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2022 - 266 с.

4. Производство отливок из стали: учебное пособие / Батышев К.А., Батышев А.И., Свиногоев Ю.А., Рябичев В.Д., Гутько Ю.И. – М.: Издательство «Перо», 2021. – 260 с.

5. An overview of the applications of furfural and its derivatives Anthonia, E. Eseyin, Philip, H. Steele Department of Sustainable Bioproducts, Mississippi State University, USA. International Journal of Advanced Chemistry, 3 (2) (2015) 42-47.

6. Serghini, A. (2011). The future of organic foundry binders in Europe. Przegląd Odlewnictwa. Nr 11-12. 548-553 (in Polish).

7. Мельников А.П., Кукуй Д.М. Современные тенденции развития технологии в литейном производстве// Литье и металлургия - №3 (47). 2008. С. 65-80

8. Инженерная экология литейного производства: Учебное пособие / [А. Н. Болдин, А. И. Яковлев, С. Д. Тепляков]; под общ. ред. А.Н. Болдина. - М.: Машиностроение, 2010. - 352 с.

9. Löfstedt H., Westberg H., Seldén A.I., Lundholm C. & Svartengren M. (2009) Respiratory symptoms and lung function in foundry workers exposed to low molecular weight isocyanates. American Journal of Industrial Medicine, 52, 455-463.

10. Löfstedt H., Westberg H., Seldén A.I., Rudblad S., Bryngelsson I.L., Ngo Y. & Svartengren M. (2011) Nasal and ocular effects in foundry workers using the Hot Box method. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 53, 43-48.

11. Діагностика безпеки розвитку потенціалу підприємства: монографія / О.В. Родіонов, Ю.С. Свиногоев та ін. – Луганськ: Вид-во «Ноулідж», 2012. – 292 с.

12. Löfstedt H., Westberg H., Seldén A.I., Bryngelsson I.L. & Svartengren M. (2011) Respiratory symptoms and lung function in foundry workers using the Hot Box method – a 4-year follow-up. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 53, 1425-1429.

13. The Directive of the European Parliament and Council of the 24-th November 2010 concerning industrial emissions (2010).

14. Информационный ресурс «Hüttenes-Albertus », Германия, адрес доступа: <http://www.huettenes-albertus.ru/>

15. Дибров И.А. О проведении XIII международного съезда литейщиков и международной выставки «Литье - 2017» 19-21 сентября 2017 г., Челябинск/ Литейщик России №10, 2017г., с. 7-14.

16. Фалах Мустафа аль Сарайрех Разупрочнители смесей на жидкостекольной основе/ Фалах Мустафа аль Сарайрех, Бэр Р., Свиногоев Ю.А., Гутько Ю. И.// Труды IX Международной научно-практической конференции «Прогрессивные литейные технологии» , НИТУ «МИСиС», 13-17 ноября 2017г., под редакцией проф. В.Д. Белова и проф. А.И. Батышева. – М.: Лаборатория рекламы и печати, 2017, с. 303-306.

17. M. Holtzer, M. Górny, R. Dańko, Microstructure and properties of ductile iron and compacted graphite iron castings. London, Springer (Eds.), 2015. - 348p.

18. Tracking Down Respirable Silica Exposure, R. Ferrell, R. Scholz. Modern Casting, February 2018, p. 27-30.

19. Real-Time Monitoring for Silica Exposure Analysis, E. Pylkas, R. Scholz. Modern Casting, January 2018 p. 30-34.

20. Burian, A. (2009). New ecological binder systems. Slévárnostvi LVII. Ieden-únor. Nr 1-2. 6 (in Czech).

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

22. Свинороев Ю.А. О потенциале применения лигносульфонатов в качестве связующих для технологических процессов литья./ Ю.А. Свинороев, Р. Бэр, Ю.И. Гутько // Литейное производство, - 2016.-№12. С.23 - 26.

23. Илларионов И.Е. Разработка теплоизоляционных смесей для прибылей стальных отливок с применением фосфатбوراتов. / Илларионов И.Е., Пестряева Л.Ш., Садетдинов Ш. В., Стрельников И.А., Жирков Е.Н.// Черные металлы, - 2020. № 7 .С.28-33.

**Svinoroev Yu.A., Gutko Yu.I.**

#### **PRODUCTION OF STEEL CASTINGS ON A LIQUID-GLASS BINDER WITH CONTROLLED SOFTENING OF THE CASTING ROD**

*Based on the results of the work, the principal possibility of using the developed complex softening additives based on technical lignin and kaolin clay for liquid-glass core mixtures was established. It is determined that the work of knocking out with the use of the proposed additives will decrease by 4-7 times, which makes the liquid-glass mixture comparable in terms of knockability with resin binders.*

*The effectiveness of the presented development is evaluated: according to the indicators of reducing the cost of*

*materials (estimated economic effect of 3,513 million rubles /year); to improve the environmental safety of production, excluding the removal from the technological process of the source of harmful emissions, phenol-formaldehyde resin; on the resource efficiency of the proposed technical solution; on the real possibility of import substitution. The proposed development has been accepted for implementation in production.*

**Keywords:** casting rods, steel castings, resin binders, liquid glass, softening additive, complex action, RESOL-CO2 process, efficiency evaluation.

**Свинороев Юрий Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленного и художественного литья» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** desna.us@yandex.ru

**Svinoroev Yuri Alekseevich**, candidate of technical Sciences, associate Professor kafedri "Industrial and artistic casting" SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Гутько Юрий Иванович**, доктор технических наук, профессор, первый проректор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** desna.us@yandex.ru

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

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

Статья подана 15.05.2022

УДК 621.742.22

## АНАЛИЗ ПРИЧИН НЕСТАБИЛЬНОСТИ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ, ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Свинооров Ю.А.

### ANALYSIS OF THE CAUSES OF INSTABILITY OF THE QUALITY OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF TECHNICAL LIGNOSULFONATES, SEARCH FOR OPTIMAL TECHNOLOGICAL SOLUTIONS

Svinoroev Yu.A.

Осуществлен принципиально новый методологический подход к изучению свойств связующих материалов и формовочных и стержневых смесей, основанный на теоретическом и экспериментальном изучении происходящих в них процессов методами химии высокомолекулярных соединений. Установлено, что основным фактором определяющим прочность формовочных и стержневых смесей является молекулярно-массовое распределение фенил-пропановых звеньев и средняя молекулярная масса применяемых в качестве связующих материалов технических лигносульфонатов. Изменение молекулярно-массового распределения за счет увеличения содержания высокомолекулярных и среднемолекулярных фракций ЛСТ и увеличение молекулярной массы приводит к значительному повышению прочности основных видов формовочных и стержневых смесей. Изучены прочностные свойства формовочных и стержневых смесей с ЛСТ с различной фиксированной молекулярной массой. Установлено, что формовочные и стержневые смеси с ЛСТ имеют удовлетворительную прочность при применении лигносульфонатов с молекулярной массой  $M_z$  выше 5000. При применении ЛСТ с  $M_z$  менее 5000 холоднотвердеющие смеси практически не твердеют, а смеси для формовки по-сырому и по горячей оснастке имеют прочность в 2 – 3 раза ниже, чем у исходной ЛСТ. Изучен механизм повышения прочности формовочных и стержневых смесей при применении ЛСТ с высокой молекулярной массой. Предложены принципиально новые способы повышения прочности формовочных и стержневых смесей путем модифицирования лигносульфонатов поверхностно-активными веществами.

**Ключевые слова:** связующие материалы, технические лигносульфонаты, связующая способность, качество материала, модифицирование, стержневые и формовочные смеси, молекулярная масса, молекулярно-массовое распределение, способы повышения прочности.

**Введение.** Уже почти 100 лет в литейных цехах России (СССР) применяют формовочные и стержневые смеси с техническими лигносульфонатами (ЛСТ) [1, 2]. Этим смесям свойственна хорошая выбиваемость, легкая регенерация, отсутствие токсичных выделений на

различных технологических участках получения отливок и др. [3, 4, 5].

В то же время в последние годы интерес литейщиков к таким смесям резко упал, что объясняется снижением прочности, текучести и формуемости как традиционно применяющихся смесей для формовки по-сырому, по-сырому, с одной стороны. Так и ставшей, в последние десятилетия, технологии изготовления форм и стержней в горячей и холодной оснастке, на основе импортных смол на фенольной основе.

Связующее ЛСТ одно из наиболее распространенных в литейном производстве на рубеже 80-90-х годов и не заслуженно забытое сейчас. Оно весьма дешевое (от 4000 до 25 000 руб./т) [6, 7] и недефицитное (из получаемых ежегодно 3 млн т. [8, 9], ЛСТ рационально используется около 10% [9]).

Поэтому изучение причин ухудшения свойств формовочных и стержневых смесей с ЛСТ и создание качественно новых видов формовочных и стержневых смесей с высокими технологическими свойствами со связующими ЛСТ для технологического процесса получения высококачественных литых заготовок в разовых песчаных формах является актуальной проблемой [10].

**Целью** настоящей работы является улучшение качества литых заготовок, получаемых в разовых песчаных формах, путем оптимизации составов и получения качественно новых формовочных и стержневых смесей со связующими материалами на модифицированных ЛСТ.

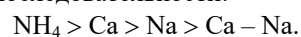
**Основные результаты выполнения работы.** Установлено, что ухудшение технологических свойств формовочных и стержневых смесей обусловлено снижением связующей способности технических лигносульфонатов. Это вызвано изменениями в технологии переработки древесины на целлюлозу сульфитным способом, при котором ЛСТ получается в качестве побочного продукта. Основными из них являются:

Изменение марки выпускаемой целлюлозы с мягкой на жесткую. При получении мягкой целлюлозы за счет более низкой температуры и большего времени протекания процесса происходит максимальная делигнификация целлюлозы (удаление лигнина за счет его сульфирования и получения растворимого в воде продукта – лигносульфонатов). В результате получают лигносульфонаты с максимальным содержанием органической (ЛСТ и редуцирующие вещества) составляющей. Так, при одинаковом основании варочной кислоты при получении мягкой целлюлозы в ЛСТ переходит до 89,5% органических веществ. При получении жесткой целлюлозы содержание органических веществ уменьшается до 83,2%.

Уменьшение содержания редуцирующих веществ (пяти- и шестиатомных сахаров, альдегидов и продуктов их распада) в связи с вводом биохимической переработки шести- и пятиятомных сахаров соответственно на спирт и кормовые дрожжи. Так, если в ранее применяемом сульфитном щелоке (СЩ) содержание редуцирующих веществ (РВ) составляло – 29-31%, то после переработки шестиатомных сахаров на спирт содержание РВ в связующем сократилось до 12 – 14%, после переработки пятиятомных сахаров на кормовые дрожжи содержание РВ и ЛСТ снизилось до 5 – 10%. В результате прочность при разрыве после сушки песчано-глинистых смесей (эталон – технологическая проба по ОСТ 13-183-83) уменьшилась с 1,1 – 1,2 МПа до 0,35 – 0,40 МПа. При этом прочность холоднотвердеющих (эталон – пластическая прочность композиции «ЛСТ –  $\text{CrO}_3$ » при оптимальном соотношении компонентов, составляющим 5:1, через 90 минут твердения) смесей (ХТС) возросла с 0,06 – 0,08 МПа при использовании в качестве связующего СЩ до 0,45 – 0,50 у ХТС с ЛСТ. Это объясняется тем, что у ХТС с СЩ значительное количество оксида хрома ( $\text{CrO}_3$ ) расходуется не на процесс отверждения связующего, а на окисление РВ. Изучение влияния сахаров на прочность смесей показало, что пяти- и шестиатомные сахара оказывают различное влияние на прочность песчано-глинистых смесей и ХТС. Различная реакционная способность сахаров обусловлена, по-видимому, различным их строением и пространственным расположением ОН-групп относительно цепочки атомов углерода. Расположение ОН-группы слева от углеродных атомов свидетельствует о склонности сахаров к термополимеризации, расположение ОН-группы справа от углеродных атомов увеличивает склонность сахаров к поликонденсации при взаимодействии с  $\text{CrO}_3$ . Чем ближе к альдегидной группе расположена ОН-группа, тем выше та или иная реакционная способность сахаров. Поэтому шестиатомные сахара (например, манноза) имеют большую склонность к термополимеризации и повышают прочность формовочных и стержневых

смесей после сушки. Пятиятомные сахара (например, ксилоза) имеют большую склонность к поликонденсации при взаимодействии с оксидом хрома (VI) и повышают прочность ХТС.

Переход на варочные кислоты с растворимым ( $\text{NH}_4$ , Na) основанием. При этом прочность смесей как песчано-глинистых, так и холоднотвердеющих в зависимости от вида основания ЛСТ уменьшается в следующей последовательности:



Такая зависимость объясняется тем, что при переходе от аммонийного к кальциевому и другим основаниям в связующем ЛСТ увеличивается содержание неорганической части, что характеризуется таким показателем лигносульфонатов, как содержание золы. При этом соответственно снижается массовая доля органической части, определяющей прочность формовочных и стержневых смесей. Поэтому смеси с ЛСТ на  $\text{NH}_4$  – основании, содержащими около 4% золы, имеют максимальную прочность при растяжении после сушки 0,95 – 1,0 МПа. Смеси с лигносульфонатами на Ca – основании при содержании в них золы 11,4 – 15,5% имеют прочность при растяжении после сушки только 0,7 – 0,85 МПа. Максимальное содержание золы имеют ЛСТ на Ca – Na-основании, поэтому прочность формовочных и стержневых смесей с этими связующими при растяжении после сушки минимальная – 0,35-0,5 МПа. Влияние вида оснований на прочность смесей объясняется строением ЛСТ. Так, если ЛСТ с Na-основанием представляют собой линейные фенил-пропановые цепочки, то при замене катиона на  $\text{Ca}^{2+}$  или  $\text{Al}^{3+}$  образуются фенил-пропановые цепочки. Поэтому при твердении ХТС или сушке песчано-глинистых смесей образуется пространственный полимер с более высокой прочностью, чем полимер, образующийся из простых фенил-пропановых цепочек.

Ужесточение режимов выпарки (уменьшение времени и повышение температуры процессов) лигносульфонатов. Это приводит сначала к частичной термополимеризации связующего с образованием крупных полимолекул с малым количеством активных функциональных групп и в дальнейшем к термодеструкции ЛСТ с разложением объемных фенил-пропановых структур в более мелкие линейные и разветвленные молекулы. В результате прочность как песчано-глинистых, так и холоднотвердеющих смесей резко снижается. Прочность формовочных и стержневых смесей снижается, если температура упаривания ЛСТ превышает следующие величины при содержании сухих веществ соответственно: 150°C – 50%, 160°C – 40%, 165°C – 30%, 170°C – 20%.

Несмотря на получение зависимости прочности формовочных и стержневых смесей от физико-химических и технологических показателей ЛСТ однозначно охарактеризовать прочность смеси как

функцию какого-либо показателя не представляется возможным. Так, при сравнительно равных значениях плотности, содержание сухих веществ и зольности ЛСТ прочность песчано-глинистых смесей со связующим Кондопожского ЦБК в 1,5 – 1,8 раза превышает прочность при разрыве после сушки смесей с Соликамским ЛСТ. Смеси с лигносульфонатами одного и того же Камского ЦБК имеют различия в прочности при растяжении после сушки в 0,20 МПа (т.е. 64 – 66%), а ХТС с этими же ЛСТ имеют различия в прочности в 0,25 МПа при практически равных показателях содержания сухих веществ, РВ, золь, рН и др. Кроме того, изменениями вязкости, содержания РВ и др. показателей сложно объяснить процессы, протекающие в ЛСТ при ужесточении режимов выпарки, изменении марки целлюлозы и др.

Технические лигносульфонаты представляют собой сложный коллоидный комплекс, состоящий из фенил-пропановых звеньев с очень широким диапазоном полидисперсности. Значения молекулярных масс ЛСТ могут быть ниже 100 и выше  $1 \cdot 10^6$ , а по некоторым данным, до  $17 \cdot 10^6$ . Поэтому при изучении их влияния на прочность формовочных и стержневых смесей за основу были приняты основные положения химии высокомолекулярных соединений (ВМС). Основными характеристиками ВМС являются значения средних молекулярных масс, молекулярно-массовое распределение (ММР) и наличие основных (метоксильных, гидроксильных и др.) реакционных групп.

Методика определения ММР, т.е. процентного содержания в лигносульфонатах низко (7000) - , средне (7000 – 35000)- и высокомолекулярных (35000) фракций основана на принципе пропускания ЛСТ через гель в хроматографической колонке. По данным гель-хроматографии, используя программы, разработанные совместно с проблемной лабораторией лигнина Архангельского лесотехнического института, рассчитывается

средняя молекулярная масса и ММР ЛСТ. Определив по данной методике ММР и среднюю молекулярную массу образцов ЛСТ различных ЦБК, установили, что эти показатели являются основной характеристикой лигносульфонатов при использовании их в качестве связующего для формовочных и стержневых смесей.

Как показали наши исследования, увеличение содержания высоко- и среднемолекулярной фракции приводит к увеличению средней молекулярной массы ЛСТ и повышению прочности как холоднотвердеющих смесей, так и смесей, отверждаемых тепловой сушкой. При этом необходимо учитывать, что  $Z$  – средняя и среднемассовая молекулярные массы связующего не должны превышать соответственно 143000 и 50000. Превышение ЛСТ указанных значений средних молекулярных масс приводит к переукрупнению молекул, повышению вязкости, снижению смачивающей способности поверхности наполнителя и как результат – снижение прочности формовочных и стержневых смесей.

Низкая прочность формовочных смесей с выпускаемыми в настоящее время лигносульфонатами объясняется тем, что около 45% связующего (см. табл. 1) составляет фракции со средней молекулярной массой  $M_z < 5000$ , которая не затвердевает при взаимодействии с оксидом хрома (VI) и практически не обеспечивает достаточной прочности смесям после сушки. Причем, на поверхности кварцевого наполнителя адсорбируется высокомолекулярная фракция, тогда как низкомолекулярная находится в растворе, чем объясняется низкая когезионная прочность пленки связующего. Таким образом, для повышения прочности формовочных смесей необходимо применять способы обработки ЛСТ, позволяющие уменьшить содержание низкомолекулярной фракции либо путем ее частичной поликонденсации, либо удалением низкомолекулярной фракции из состава ЛСТ как балласта.

Таблица 1

**Влияние средней молекулярной массы на прочность песчано-глинистых и холоднотвердеющих смесей с ЛСТ**

| Средняя молекулярная масса фракции ЛСТ, $M_z$ | Содержание фракции в ЛСТ, % | Предел прочности при растяжении высушенных образцов, МПа | Пластическая прочность композиции «ЛСТ – $CrO_3$ », МПа при твердении через |       |      |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------|------|
|                                               |                             |                                                          | 90 мин.                                                                     | 12 ч  | 24 ч |
| 10000 – 150000                                | 20                          | 0,90                                                     | 0,75                                                                        | 1,05  | 1,25 |
| 5000 – 10000                                  | 35                          | 0,42                                                     | 0,27                                                                        | 0,31  | 0,34 |
| 2000 – 5000                                   | 30                          | 0,32                                                     | 0,02                                                                        | 0,025 | 0,04 |
| 300 – 2000                                    | 10                          | 0,27                                                     | 0                                                                           | 0     | 0,02 |
| до 300 и сахара                               | 5                           | 0,13                                                     | 0                                                                           | 0     | 0    |
| ЛСТ исх.                                      | -                           | 0,50                                                     | 0,40                                                                        | 0,52  | 0,60 |

Впервые установлено, что частичную поликонденсацию ЛСТ для увеличения молекулярной массы можно проводить путем обработки лигносульфонатов поверхностно-активными веществами (ПАВ). Наиболее подходящими ПАВ для смесей с ЛСТ являются

средние представители гомологических рядов сульфатов или сульфонов – алкилсульфаты  $C_6$  и  $C_7$ , алкилбензолсульфонат  $C_6$  и алкилнафталинсульфонаты  $C_3$  и  $C_4$ . Однако, выпускаемые промышленностью алкилсульфонаты и алкилнафталинсульфонаты по своим свойствам

значительно хуже, чем указанные представители ПАВ. Из алкилбензолсульфонатов наиболее близкими к представителям данного гомологического ряда по своим составу и свойствам являются выпускаемые промышленностью контакт Петрова, ДС-РАС и КЧНР (контакт черный нейтрализованный рафинированный). Из перечисленных ПАВ только КЧНР и в меньшей степени ДС – РАС являются наиболее подходящими для смесей с ЛСТ. В качестве модификатора ЛСТ был выбран КЧНР, который по своему строению наиболее близок к ЛСТ.

На основании данных дифференциально-термического анализа и определения количества, активных реакционно-способных групп методом обратного высокочастотного титрования можно предположить, что при обработке ЛСТ КЧНР происходит частичная поликонденсация линейных или разветвленных молекул за счет взаимодействия КЧНР с фрагментами ЛСТ через спиртовые гидроксилы. Процесс частичной поликонденсации может также происходить за счет сшивки через фенольные гидроксилы и активные углеродные связи ( $C = C$ ). Во втором случае КЧНР является катализатором реакции, снижая поверхностное натяжение ЛСТ и способствуя большей подвижности молекул. Прохождение данных реакций облегчается тем, что обработка лигносульфонатов КЧНР происходит при температурах их концентрирования (120 – 150°C). Кроме того, обработка КЧНР приводит к снижению поверхностного натяжения и вязкости ЛСТ. За счет этого улучшается смачивающая способность связующего поверхности наполнителя и проникающая способность связующего в пространство между зернами наполнителя, что способствует образованию на поверхности наполнителя более прочных пленок.

**Выбор оптимальных наполнителей и регенерации отработанных смесей с ЛСТ.** Установлено, что критерием пригодности наполнителя для ХТС, ЖСС с ЛСТ является его водопоглощающая способность. Для получения смесей с оптимальными технологическими свойствами водопоглощающая способность наполнителя не должна превышать 4,5%.

Добавка в смесь с ЛСТ огнеупорной глины позволяет повысить прочность смеси особенно при нагреве до температуры 600 – 800°C, при которой смесь, не содержащая глины, практически не имеет прочности. Оптимальное содержание глины в ХТС и ЖСС 3 – 4%. Дальнейшее увеличение ее содержания снижает текучесть, живучесть и газопроницаемость с одновременным повышением прочности смеси. Снижение текучести и живучести объясняется частичной адсорбцией глиной влаги из смеси. Повышение прочности смеси объясняется адсорбцией на поверхности глины не только влаги, но и низкомолекулярной фракции ЛСТ. Поэтому в процессе поликонденсации принимают участие в

основном средне- и высокомолекулярные фракции, что как уже было указано выше, приводит к значительному увеличению прочности смеси.

Для получения высокопрочных формовочных смесей с ЛСТ при высоких температурах (800°C и выше) необходимо частично (до 60%) или полностью заменить в смесях кварцевый песок на хромит. При нагреве хромистого песка плавятся смеси, содержащие щелочные и щелочно-земельные силикаты, и расплав заполняет поры между зернами наполнителя. Затем расплав примесей вступает в реакцию с хромитовым песком и происходит спекание (ошлаковывание) смеси, что препятствует проникновению жидкой стали в межзерновое пространство. Это приводит к повышению прочности смесей до 0,85 МПа при нагреве до 1000°C. Закрытие пор при спекании и хорошая теплопроводность обеспечивают более высокие противопожарные свойства смесям на основе хромита. В формах на хромите можно получать массивные стальные отливки (масса до 30 т, толщина стенки до 500 мм).

Применяемый для ЖСС с ЛСТ возврат не должен содержать отработанную жидкостекольную смесь. При содержании ее в наполнителе свыше 5% с ЛСТ практически перестает твердеть вследствие повышения рН среды и резкого замедления процесса поликонденсации композиции «ЛСТ –  $CrO_3$ ». Отработанные песчано-глинистые смеси и смеси с ЛСТ не должны превышать в наполнителе соответственно 30 и 50%. Превышение в наполнителе пределов указанных составляющих приводит к резкому повышению водопоглощающей способности наполнителя и, как следствие, снижение текучести, живучести и других технологических свойств ЖСС и ХТС с ЛСТ. Основное влияние на технологические свойства ЖСС и ХТС оказывает непрогретый возврат (бой форм и стержней, неиспользованная смесь и др.). При содержании его в смеси до 30% текучесть смеси снижается со 120 до 97 мм (на 30%). При дальнейшем увеличении содержания возврата до 40% текучесть смеси падает до 85 – 87 мм (на 50%) и при 50% возврата смесь не переходит в жидкоподвижное состояние. Возврат, прогретый до 100°C, оказывает значительно меньшее влияние на текучесть ЖСС, чем непрогретый. Так, при 40% прогретого возврата текучесть смеси увеличивается с 87 – до 105 мм. По мере повышения температуры прогрева текучесть при одном и том же количестве возврата увеличивается. Возврат, прогретый до 200°C и выше, может практически полностью заменить кварцевый песок в ЖСС с ЛСТ. Текучесть смеси при этом вполне удовлетворительная (90 мм и выше). Улучшение текучести смеси при нагреве возврата объясняется тем, что по мере повышения температуры прогрева резко уменьшается его водопоглощающая способность. Так, если водопоглощающая способность непрогретого возврата составляет 10%, то при нагреве до 100°C

она снижается до 7,0%, при прогреве до 200°C до 4,6%.

Проведенные исследования легли в основу способа регенерации, возврата, который состоит в уменьшении водопоглощающей способности наполнителя путем прогрева возврата при 250°C. Добавка такого возврата в наполнитель в количестве 70% повышает влагоемкость наполнителя лишь до 3,1%, что обуславливает хорошую текучесть смеси (III мм).

Разработан способ восстановления свойств отработанной ЖСС с ЛСТ при нормальной температуре. Учитывая, что основным критерием пригодности возврата для ЖСС с ЛСТ является его водопоглощающая способность, предложен способ ее уменьшения обработкой гидрофобными веществами. В качестве гидрофобизатора был использован прямогонный мазут, который по своим гидрофобизирующим свойствам не уступает таким известным веществам, как вазелиновое и касторовое масло, гидрофобная жидкость ГКК-94, парафин и др., но наиболее дешевый и недефицитный. Обработка мазутом производится в смесителе, применяемом для приготовления ЖСС, в течение 1,5 – 2 минут. Обработка возврата гидрофобными веществами проще, чем тепловая обработка, так как производится непосредственно в смесителе. Однако, стабилизация свойств смеси происходит после 10 – 12 циклов оборота наполнителя и технологические свойства смеси при этом несколько хуже, чем при тепловой обработке возврата.

**Формовочные и стержневые смеси со связующими материалами на основе технических лигносульфонатов.** Результаты выполненных исследований взяты за основу при разработке оптимальных составов следующих основных групп формовочных и стержневых смесей: ЖСС, смесей для формовки по-сырому и по-сухому. При этом, кроме текучести и уплотняемости, учитывалась манипуляторная прочность смесей, прочность при высоких температурах, возможность повторного использования отработанных смесей и др.

ЖСС с КЛС рекомендуются для изготовления форм и стержней при производстве чугуна (массой до 10000 кг) и стального (массой до 2000 кг) литья в единичном и мелкосерийном производстве. При изготовлении крупного стального литья массой от 2000 кг до 30000 кг и толщиной стенки до 500 мм в состав наполнителя необходимо вводить от 60 до 100% (по массе) хромита. При этом для удешевления отливок стержни и формы необходимо делать двухслойными: облицовочный слой с содержанием 100% хромита и наполнительная смесь на кварцевом песке, либо со связующим ЛСТ (КЛС), либо жидким стеклом.

Применение в составе ЖСС КЛС вместо ЛСТ позволяет получать смеси с высокими технологическими свойствами без дополнительного ввода ПАВ и с понижением (на 10 – 15%)

содержанием токсичного оксида хрома (VI). При применении в ЖСС с КЛС катализирующей добавки ОТР можно снизить содержание оксида хрома (VI) до 50%. Порядок ввода ОТР существенно влияет на свойства ЖСС. Для получения смесей с высокой текучестью и живучестью ОТР необходимо вводить в смесь совместно с КЛС (ЛСТ). При вводе ОТР совместно с оксидом хрома (VI) возрастает скорость твердения ЖСС, что позволяет осуществлять разборку строжневых ящиков и извлечение из формы моделей через 15 – 25 минут после заливки смеси. В смесь вводится до 70% собственно возврата с поглощающей способностью ниже 4,0 – 4,5%, для чего возврат либо прогревается при температуре 200 – 250°C, либо обрабатывается при перемешивании в смесителе мазутом (гидрофобным веществом).

Стержни и формы из ЖСС, особенно высотой более 1000 мм, склонны к осадке смеси – уменьшению высоты формы или стержня под действием массы вышележащих слоев в период после спадения пены до образования прочного объемного полимера. Иногда осадка форм и стержней достигает 14 – 16% по высоте. Основное влияние на осадку смеси оказывает плотность и содержание сухих веществ в КЛС (ЛСТ), которые должны находиться в пределах – плотность 1150 – 1160 кг/м<sup>3</sup>, содержание сухих веществ – 30 – 32%.

Для приготовления ЖСС в смесителях непрерывного действия рекомендуется использовать экспресс-метод контроля прочности смеси. Метод основан на определении разности температур наполнителя и смеси, которая нагревается за счет тепла, выделяющегося при окислении ЛСТ оксидом хрома (VI). Градиент температур зависит от соотношения между ЛСТ и оксидом Хрома (VI). При содержании оксида хрома (VI) ниже оптимального процесс окисления замедляется, и градиент температур уменьшается. Увеличение содержания оксида хрома (VI) выше оптимального приводит к интенсивному окислению ЛСТ и значительному повышению градиента температур. Величина оптимального градиента температур в зависимости от температуры наполнителя возрастает с 2 – 3°C при 18°C до 8 – 9°C – при 30°C.

Разработаны составы ЖСС на комбинированном связующем «ЛСТ – жидкое стекло». Особенность приготовления смеси состоит в том, что в первую очередь в смеситель вводят наполнитель и феррохромовый шлак и после перемешивания добавляют жидкое стекло и через 2 – 3 минуты – ЛСТ (КЛС) с растворенным в нем пероксодисульфатом аммония.

Учитывая, что разработанные составы ЖСС содержат в качестве отвердителя оксид хрома (VI), изучены санитарно-гигиенические условия труда в литейных цехах. Установлено, что предложенные составы ЖСС и технология изготовления из них стержней и форм не создает опасности для здоровья работающих в цехе. В случае обнаружения  $\text{Cr}^{6+}$  в

отработанной смеси для его нейтрализации разработан способ прогрева возврата при температуре 240 – 250°C для восстановления  $\text{Cr}^{6+}$  до менее токсичного  $\text{Cr}^{3+}$ .

**Результаты работы.** Разработанные составы ЖСС рекомендуются для изготовления форм и стержней при производстве чугуна (развесом 50 – 30000 кг) и стального литья (развесом 30 – 5000 кг) с толщиной стенки от 10 до 500 мм в единичном и мелкосерийном производстве. Для получения стальных отливок с чистой поверхностью выше 5000 кг необходимо в облицовочную смесь вводить от 10 до 100% хромита.

Основное требование, предъявляемое к смесям для формовки по-сырому – минимальное содержание влаги. Однако, получать смеси с высокими технологическими свойствами (особенно текучестью и уплотняемостью) при содержании влаги ниже 4,5% на современных связующих материалах (ЛСТ, глина и др.) практически невозможно. Поэтому в этих смесях в качестве заменителя ЛСТ использовано КЛС. Такая замена привела к улучшению технологических свойств формовочных смесей. Даже при влажности 3 – 3,5% смесь имеет удовлетворительную уплотняемость (35%), хорошую текучесть (80 – 85%) и высокую прочность (0,10 – 0,12 МПа). Улучшение текучести и уплотняемости смеси объясняется значительным снижением внутреннего трения между зёрнами наполнителя при замене ЛСТ на КЛС, вследствие снижения вязкости и поверхностного натяжения связующего при модифицировании его КЧНР. Повышение прочности можно объяснить лучшей уплотняемостью образцов, а также большей молекулярной массой КЛС по сравнению с ЛСТ, что повышает связующие свойства. Содержание КЛС в смеси рекомендуется в пределах 1,5 – 2 мас.ч. Увеличение содержания КЛС приводит к дальнейшему повышению текучести и уплотняемости смеси и одновременному снижению ее прочности из-за очень малого трения между зёрнами наполнителя.

Разработанные смеси для формовки по-сырому рекомендуются в качестве единой смеси для изготовления форм на механизированных линиях при получении стальных отливок развесом от 20 до 300 кг. Снижение влажности смеси до 3 – 3,5% привело к улучшению газового режима формы и снижению брака литья по газовым раковинам в 2 – 2,5 раза.

**Выводы.** Осуществлен принципиально новый методологический подход к изучению свойств связующих материалов и формовочных и стержневых смесей, основанный на теоретическом и экспериментальном изучении происходящих в них процессов методами химии высокомолекулярных соединений. Установлено, что основным фактором определяющим прочность формовочных и стержневых смесей является молекулярно-массовое распределение фенил-пропановых звеньев и средняя

молекулярная масса применяемых в качестве связующих материалов технических лигносульфонатов. Изменение молекулярно-массового распределения за счет увеличения содержания высокомолекулярных и среднемолекулярных фракций ЛСТ и увеличение молекулярной массы приводит к значительному повышению прочности основных видов формовочных и стержневых смесей.

Изучены прочностные свойства формовочных и стержневых смесей с ЛСТ с различной фиксированной молекулярной массой. Установлено, что формовочные и стержневые смеси с ЛСТ имеют удовлетворительную прочность при применении лигносульфонатов с молекулярной массой  $M_z$  выше 5000. При применении ЛСТ с  $M_z$  менее 5000 холоднотвердеющие смеси практически не твердеют, а смеси для формовки по-сырому и по горячей оснастке имеют прочность в 2 – 3 раза ниже, чем у исходной ЛСТ.

Изучен механизм повышения прочности формовочных и стержневых смесей при применении ЛСТ с высокой молекулярной массой. Предложены принципиально новые способы повышения прочности формовочных и стержневых смесей путем модифицирования лигносульфонатов поверхностно-активными веществами и ультрафильтрацией через полупроницаемые мембраны.

Предложен механизм затвердевания ЖСС со связующими ЛСТ и нетоксичным окислителем – пероксодисульфатом аммония. Это позволило впервые создать смеси с комбинированным связующим «ЛСТ – жидкое стекло». Жидкое стекло, являясь в данных смесях дополнительным связующим, повышает pH среды и ускоряет процесс поликонденсации. Комплексообразователями являются ионы  $\text{Ca}^{2+}$ , образующиеся при гидратации вводимого в смесь феррохромового шлака. Полученные смеси имеют высокую прочность при нормальной и высокой температурах (подобно жидкостекольным смесям) и хорошую выбиваемость (подобно смесям с ЛСТ).

Доказано, что причинами ухудшения свойств формовочных и стержневых смесей с ЛСТ являются произошедшие в последние годы изменения в технологии переработки древесины на целлюлозу, которые заключаются в следующем:

- уменьшение содержания в ЛСТ пяти- и шестиатомных сахаров, альдегидов и продуктов их распада в связи с введением биохимической переработки лигносульфонатов;
- понижение в содержании ЛСТ органической части вследствие перехода на жесткие режимы варки целлюлозы;
- разукрупнение молекул, частичное деметакселирование и уменьшение количества в ЛСТ реакционноспособных (метоксильных –  $\text{OCH}_3$ , использующихся в качестве критерия чистоты ЛСТ; гидроксильных –  $\text{OH}$ , оказывающих влияние на

процесс поликонденсации ЛСТ, сульфогрупп – SO<sub>3</sub>Na, придающих ЛСТ гидрофильные свойства и способность растворяться в воде и др.) групп вследствие перехода на варочные кислоты с растворимым основанием;

- переукрупнение молекул при частичной термополимеризации ЛСТ из-за ужесточения (уменьшения времени и повышения температуры) режимов выпарки.

Даны научно-обоснованные рекомендации для получения основных видов формовочных и стержневых смесей со связующими материалами на основе технических лигносульфонатов с оптимальными технологическими свойствами для технологического процесса производства мелких (до 100 кг), средних (до 2000 кг) и крупных (до 30000 кг) чугунных и стальных отливок в разовых песчаных формах в единичном и мелкосерийном производстве.

#### Л и т е р а т у р а

1. Формовочные материалы и смеси / [Дорошенко С. П., Авдокушин В. П., Русин К., Мацишек И.]. - К.: Вища школа, 1990; Прага: СНТЛ, 1990. – 415 с.
2. Жуковский С.С. Прочность литейной формы / Жуковский С. С. – М.: Машиностроение, 1989. – 288с.
3. Экология литейного производства : Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Н. Болдина, С.С. Жуковского, А.Н. Поддубного, А.И. Яковлева, В.Л. Крохотина. - Брянск: Изд-во БГТУ, 2001. - 315 с.
4. Инженерная экология литейного производства : Учебное пособие / [А. Н. Болдин, А. И. Яковлев, С. Д. Тепляков] ; под общ. ред. А.Н. Болдина. - М.: Машиностроение, 2010. - 352 с.
5. Семик А. П. Формовочные и стержневые смеси со связующими материалами на основе технических лигносульфонатов. : дис. доктора техн. наук : спец. 05.16.04 «Литейное производство» / Семик А. П. - К., 1987. – 225 с.
6. Евстифеев Е.Н. Разработка малотоксичных связующих материалов и ресурсосберегающих смесей на их основе для усовершенствования технологий изготовления литейных стержней и форм при производстве отливок : автореф. на соискание уч. степени доктора техн. наук : спец. 05.16.04 «Литейное производство» / Е. Н. Евстифеев. - Ростов на Дону, 2007г. - 20 с.
7. Falah Mustafa Al- Saraireh & Yuri Svinoroev Assessment of casting binding materials based on modified technical lignosulfonates/ International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD) ISSN (P): 2249–6890; ISSN (E): 2249–8001 Vol. 10, Issue 2, Apr 2020, 335–346
8. Евстифеев Е. Н. Модифицированные технические лигносульфонаты для изготовления стержней конвективной сушкой: Монография / Евстифеев Е. Н. – РГАСХМ ГОУ, 2003. — 230 с.
9. Свинороев Ю. А. Лигносульфонатные материалы как перспективное сырьё для разработки новых связующих материалов для литейного производства / Свинороев Ю. А., Гутько Ю. И. // Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология : международная научно-практическая конференция

выставка, 12 -14 декабря 2011 г. : материалы. – К.: ФТИМС НАН Украины. 2011. – С. 241-243.

10. Свинороев Ю.А. О потенциале применения лигносульфонатов в качестве связующих для технологических процессов литья./ Ю.А. Свинороев, Р. Бэр, Ю.И. Гутько // Литейное производство, - 2016.-№12. С.23 - 26.

**Svinoroev Yu.A.**

#### **ANALYSIS OF THE CAUSES OF INSTABILITY OF THE QUALITY OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF TECHNICAL LIGNOSULFONATES, SEARCH FOR OPTIMAL TECHNOLOGICAL SOLUTIONS**

*A fundamentally new methodological approach to the study of the properties of binding materials and molding and core mixtures, based on the theoretical and experimental study of the processes occurring in them by methods of chemistry of high-molecular compounds, has been carried out. It is established that the main factor determining the strength of molding and core mixtures is the molecular weight distribution of phenyl-propane units and the average molecular weight of technical lignosulfonates used as binding materials. A change in the molecular weight distribution due to an increase in the content of high-molecular and medium-molecular fractions of LST and an increase in molecular weight leads to a significant increase in the strength of the main types of molding and core mixtures. The strength properties of molding and core mixtures with LST with different fixed molecular weights have been studied. It has been established that molding and core mixtures with LST have satisfactory strength when using lignosulfonates with a molecular weight Mz above 5000. When using LST with Mz less than 5000, cold-hardening mixtures practically do not harden, and mixtures for dry forming and hot tooling have a strength 2-3 times lower than that of the original LST. The mechanism of increasing the strength of molding and core mixtures with the use of LST with a high molecular weight has been studied. Fundamentally new ways of increasing the strength of molding and core mixtures by modifying lignosulfonates with surfactants are proposed.*

**Keywords:** binding materials, technical lignosulfonates, binding capacity, material quality, modification, core and molding mixtures, molecular weight, molecular weight distribution, ways to increase strength.

**Свинороев Юрий Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедр «Промышленного и художественного литья» ГОУ ВПО ЛНР Луганский государственный университет имени Владимира Даля, г. Луганск.

**E-mail:** desna.us@yandex.ru

**Svinoroev Yuri Alekseevich**, candidate of technical Sciences, associate Professor kafedri "Industrial and artistic casting" SEE HT LPR «Luhansk Vladimir Dahl State University»

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

*Статья подана 15.05.2022*

УДК 621.73.043

## ТЕХНОЛОГИЯ И КОНСТРУКЦИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

Семеняка Л.И., Матусевич И.И.

## TECHNOLOGY AND DESIGN TOOL FOR MANUFACTURING HYDRAULIC CYLINDER BODES

Semenyaka L.I., Matusevich I.I.

*В статье представлены технологии изготовления корпусов гидроцилиндров. Приведен сравнительный анализ технологического процесса получения сборно-сварной конструкции корпуса обработкой резанием и точной цельноштампованной заготовки пластическим деформированием. Приводятся конструкции и описание работы штамповой оснастки.*

**Ключевые слова:** корпус гидроцилиндра, гильза, цельноштампованная заготовка, штамп, операция штамповки, пластическое деформирование.

**Введение.** Благодаря своей простоте гидропривод используется во многих областях техники: в конструкциях строительно-дорожных машин, грузовых автомобилей, грузоподъемного оборудования, в станкостроении.

Основной деталью гидропривода является корпус. Традиционно используется сборно-сварная конструкция. Корпус состоит из гильзы, штока, поршня, крышки. И процесс изготовления сводится к сборке этих компонентов с предварительной точной их обработкой. Кроме того, вваривают бонки для подключения к трубам при подаче рабочей жидкости в поршневую полость, устанавливают манжеты, направляющие кольца, грязесъемник.

К полости гидроцилиндра предъявляются высокие требования, так как от этого зависит эффективность гидропривода. Точность внутренней поверхности корпуса должна соответствовать Н7 качеству, а шероховатость – 0,4 мкм. Это требует использования определенной заготовки и высокоточного оборудования.

«ООО СпецГидроСервис» предлагает технологию изготовления корпуса гидроцилиндра с использованием холоднотянутых хонингованных или раскатанных труб. Хонингованные трубы поставляются длинами от 2 метров до 9 метров, в зависимости от диаметра, с чистотой рабочей поверхности 0,2...0,4 мкм, торцы труб закрыты пластмассовыми пробками, что исключает попадание влаги и инородных тел при транспортировке.

Производственная компания «ПромТьюб» использует прецизионные трубы для изготовления высококачественных гидроцилиндров [1].

Европейские фирмы применяют качественные, с обработанной внутренней поверхностью готовые трубы, произведенные на специализированных предприятиях [2].

Технология производства следующая. Трубы режутся на заготовки на ленточно-отрезных станках. Затем гильза обрабатывается с двух сторон для установки передней и задней крышки. Далее осуществляется сварное соединение гильзы с бонками и крышками.

Для исключения искажения сечения в месте приварки бонки используются методы сварки и оборудование, позволяющие выполнить сварочный шов за короткое время, с меньшим нагревом гильзы и гарантированным качеством шва [3].

Технология изготовления корпусов гидроцилиндров пластическим деформированием предусматривает получение цельноштампованных заготовок из прутка. Штампочные операции калибровка с наметкой отверстия, выдавливание, вытяжка с утонением стенки и дорнование осуществляются с нагревом заготовки и при комнатной температуре. Последняя операция позволяет получать такие же качества полости корпуса гидроцилиндра, как и традиционная обработка резанием. Используемое оборудование – кривошипные и гидравлические прессы [4].

**Целью работы** является характеристика сконструированной штамповой оснастки для реализации технологии получения цельноштампованных заготовок корпусов гидроцилиндров.

Штамп для прямого выдавливания (рис. 1) содержит верхнюю плиту 20 с подвижным пуансонодержателем 16, промежуточную подвижную плиту 5 с закрепленным на ней бандажом 2, в котором устанавливается сменная матрица составной конструкции (дет. 1, 4), съёмник 15, имеющий возможность осевого перемещения посредством штоков 14, нижнюю плиту 13, с

установленным на ней стаканом 12, в котором монтируется неподвижный пуансон 9.

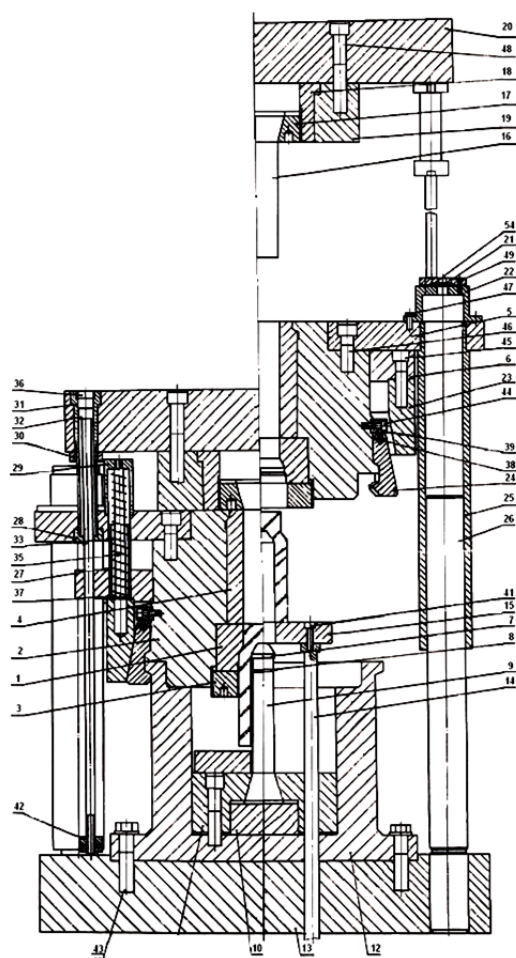


Рис. 1. Штамп для прямого выдавливания

Штамп работает следующим образом. В крайнем верхнем положении ползуна пресса промежуточная плита удерживается посредством штоков 32 на определенном расстоянии от торца неподвижного пуансона, необходимом для свободного удаления штампованной заготовки из штампа. Для приведения штампа в исходное положение к штамповке необходимо опустить промежуточную плиту до упора бандажа 2 в стакан 12. Промежуточная плита опускается под собственным весом при движении вниз верхней плиты. При этом пока бандаж не упрется в стакан, подпружиненное кольцо 6 остается прижатым к промежуточной плите, что обеспечивает возможность поворота на некоторый угол зажимов 24, установленных на бандаже 2. В конце хода промежуточной плиты зажимы 24 находят своими скосами на фланец стакана, отклоняются и затем захватывают его, когда бандаж упрется в стакан. В этом положении движение ползуна пресса должно прекратиться. Штамп готов для загрузки в его матрицу заготовки. После загрузки заготовки пресс включается на рабочий ход. Теперь при движении

вниз верхней плиты освобожденное от действия штоков 32 кольцо 6 начинает опускаться, чему способствуют пружины 33. Опускание кольца 6 продолжается до тех пор, пока закрепленная на нем втулка 23 не упрется своей конической поверхностью в зажимы 24, тем самым предотвратив их поворот и возможность движения матрицы и бандажа вверх в процессе выдавливания. Ход ползуна пресса при выдавливании происходит до упора пуансонодержателя 19 в промежуточную плиту. На возвратном ходе подвижный пуансон выходит из матрицы при фиксированном ее положении зажимами 24 и втулкой 23. Затем под действием штоков 32 начинает двигаться вверх кольцо 6, освобождая зажимы 24, после чего поднимается промежуточная плита до крайнего верхнего положения. Съем штампованной заготовки с неподвижного пуансона осуществляется воздействием на нее усилия выталкивателя пресса через штоки 14 и съемник 15.

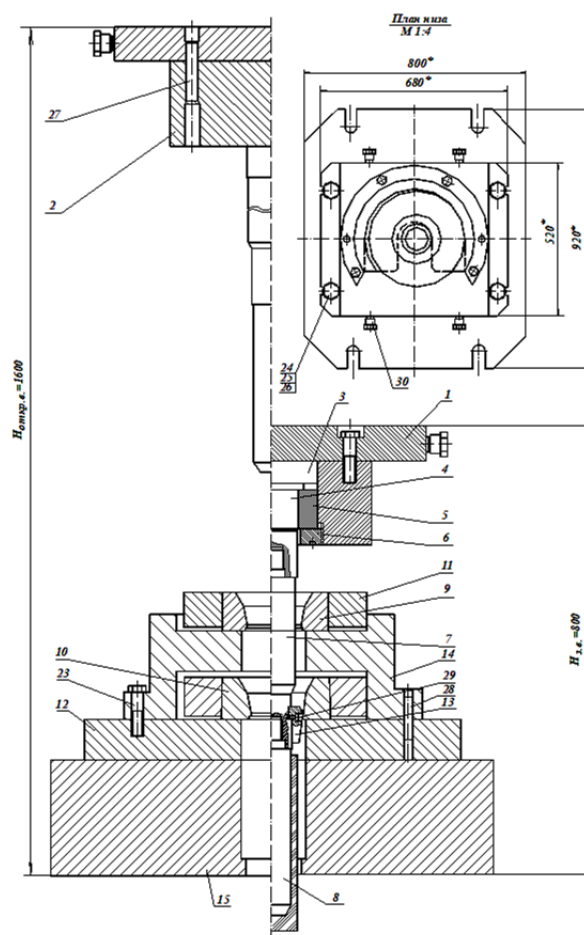


Рис. 2. Штамп для вытяжки с утонением стенки

Штамп для вытяжки с утонением стенки предусматривает реализацию последовательной или одновременной (в зависимости от высоты корпуса гидроцилиндра) вытяжки через две матрицы. В конструкции штампа (рис. 2) использовано решение для съема заготовки с пуансона, согласно которому

с помощью клина 13, закрепленного на пуансоне, в конце рабочего хода происходит сдвиг матрицы. При обратном ходе пуансона верхняя кромка детали упирается в матрицу и происходит съем ее с пуансона.

Штамп для дорнования (рис. 3) – четырехпозиционный, предусматривает дорнование одним дорном на первых трех позициях (I–III) и калибровку на позиции IV. Деформируемые заготовки располагаются на поворотном револьверном столе, для вращения которого используется гидравлический двусторонний привод и шестеренчато-реечный преобразующий механизм периодического движения, работающий на принципе прерывания пневматической связи (3).

Штамп состоит из верхней плиты 1, на которой монтируются четыре оправки 5 с дорнами 7, основания 11, устанавливаемого на нижней плите 20, стола 9, вращающегося на пальце 10, корпуса редуктора 24, в котором смонтирован поршень 16 гидравлического цилиндра привода механизма периодического движения, двух гидравлических цилиндров 19 с поршнем-рейкой 21.

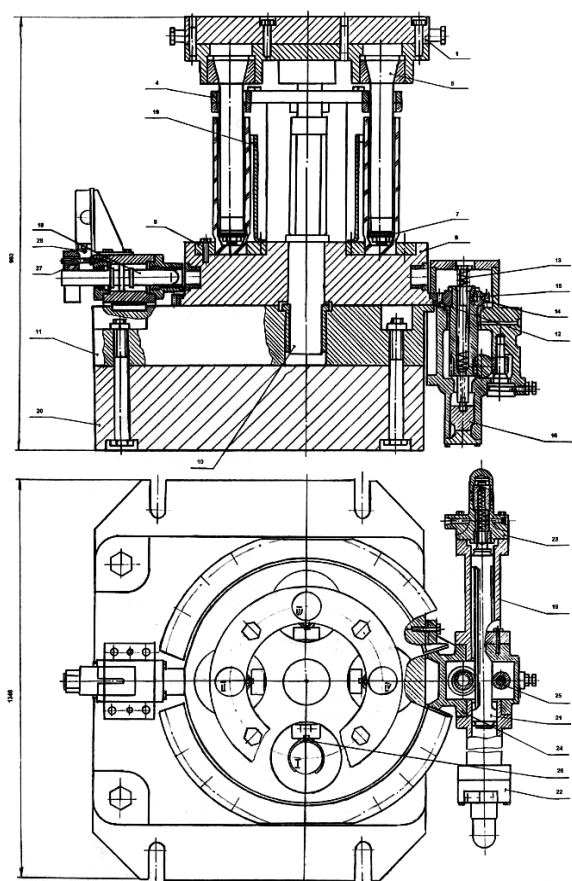


Рис. 3. Штамп для дорнования

В нижней части стола 9 смонтирована большая шестерня 12, зацепляющаяся с шестерней 14, посаженной с помощью шпонки на вал-шестерню 15, которая приводится во вращение поршнем-рейкой 21. Ролик 25 служит для предотвращения

изгиба рейки в процессе работы. На револьверном столе 9 установлены четыре кольца 8, в которые помещаются деформируемые заготовки, съемник 4 и четыре кронштейна 19 с закрепленными на них пружинными фиксаторами 26, удерживающими заготовки.

Работа штампа происходит следующим образом. На позиции I выгрузки, загрузки и калибровки заготовка устанавливается в кольцо 8 и фиксируется пружинным фиксатором 26. Одновременно дается команда на включение клапана, и жидкость поступает в головку 23, затем в цилиндр 19, воздействует на поршень-рейку 21, которая начинает двигаться, приводя во вращательное движение через вал-шестерню 15, шестерню 14 и 12, а также стол 9. Заготовка подается на позицию II. Перемещением поршня 18 вправо фиксируется положение стола относительно оправок с дорнами. При движении поршня 18 закрепленный на нем специальный упор 27 воздействует на рычаг 28 конечного выключателя и включает пресс на ход вниз, величина которого устанавливается с помощью конечного выключателя прессы, он же одновременно подает команду на ход вверх. При ходе вверх оправки с дорнами извлекаются из полости заготовок, удерживаемых от вертикального перемещения с помощью съемника. Положение съемника на позициях II, III, IV устанавливается так, чтобы при сдвиге вверх заготовки донная часть ее не выходила из центрирующего кольца.

Во время совершения рабочего хода поршень 16 выводит шестерню 14 из зацепления с шестерней 12, а подачей жидкости в головку 22 осуществляется возврат поршня-рейки 21 в исходное положение. После того как поршень-рейка 21 приведена в исходное положение, жидкость из-под поршня 16 выпускается, и шестерня 14 под действием пружины 13 вводится в зацепление с шестерней 12. Механизм готов к повороту стола для осуществления следующего рабочего цикла.

В конце четвертого цикла и далее в каждом рабочем цикле после подъема траверсы прессы отштампованная заготовка на позиции I извлекается из штампа, на ее место устанавливается следующая заготовка под дорнование, и весь цикл повторяется.

**Вывод.** Представлены конструкции штампов для реализации технологии изготовления точных заготовок корпусов гидроцилиндров и приведено описание их работы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гидроцилиндры. Изготовление труб. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.krpm.ru/netcat\\_files/493\\_6.pdf](https://www.krpm.ru/netcat_files/493_6.pdf).
2. Новые технологии изготовления гидроцилиндров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://s-gidro-s.ru/services/izgotovlenie-gidrocilindrov/>.
3. Технология изготовления гидроцилиндров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://www.hydronek.ru/stati/tehnologija-izgotovlenija-gidroocilindra>.

4. Семеняка Л.И. Штамповка корпусов гидроцилиндров. Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении: Сб. науч. тр. – Луганск: изд-во ЛНУ им. В.Даля. – 2017. – №2(19). – С. 40-45.

**Semenyaka L.I., Matusevich I.I.**  
**TECHNOLOGY AND DESIGN TOOL FOR MANUFACTURING HYDRAULIC CYLINDER BODES**

*The article presents technologies for manufacturing hydraulic cylinder bodies. A comparative analysis of the technological process of obtaining a prefabricated-welded construction of body by cutting and a precision solid-stamped workpiece by plastic deformation is presented. The design and description of the work of the stamping equipment are given.*

**Key words:** *hydraulic cylinder body, sleeve, solid-stamped blank, stamp, stamping operation, plastic deformation.*

**Семеняка Людмила Ивановна**, кандидат технических наук, доцент ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** oomdis@yandex.ru

**Semenjaka Ludmila Ivanovna**, is candidate of technical sciences, associate professor SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Матусевич Инна Ивановна**, старший преподаватель ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** oomdis@yandex.ru

**Matusevich Inna Ivanovna**, senior lecturer SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

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

*Статья подана 15.04.2022*

УДК 621.9.048

## ОБРАБОТКА СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВАМИ В КОНИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ

Солодовник М.Д., Ясуник С.Н., Волков И.В., Кузнецова М.Н.

## TREATMENT WITH FREE ABRASIVES IN A CONICAL CHAMBER

Solodovnik M.D., Yasunik S.N., Volkov I.V., Kuznetsova M.N.

В статье рассмотрена возможность отделочно-зачистной обработки деталей в устройстве с рабочей камерой в виде усеченного конуса. Описано относительное движение детали в среде свободных абразивов в данной камере. Определены рациональные параметры движения.

**Ключевые слова:** отделочно-зачистная обработка, абразив, деталь, оболочка, конус, сила инерции, относительное движение.

**Введение.** Тонкостенные оболочки (камеры, контейнеры, емкости, баллоны) используются в машинах различного назначения, например, для смешивания, динамического воздействия на загруженную среду, обработки и др.

В качестве объекта исследования в данной статье рассматривается устройство для отделочно-зачистной обработки, рабочей камерой которого является вращающаяся с угловой скоростью  $\omega$  достаточно прочная оболочка усеченно-конического профиля (аналогичная [1]).

Элементы загрузки камеры (засыпанные внавал обрабатываемые детали и свободный гранулированный абразив) под действием кориолисовой и переносной сил инерции при некоторых режимах могут смещаться (двигаться) по внутренней поверхности конуса. При этом центробежная сила с большей интенсивностью инициирует движение деталей к внутренней поверхности оболочки. Решение задач о взаимодействии системы «деталь – коническая оболочка» значительно сложнее, чем в случаях цилиндрических оболочек, так как структура исходных уравнений является более сложной по сравнению с последними, особенно при изучении составного движения.

В настоящей статье использована математическая модель теории относительного движения точки, имитирующей деталь, в движущейся системе координат, связанной с рабочей камерой-оболочкой, которая для деталей является односторонней связью с внутренней поверхностью усеченного конуса ( $f \neq 0$ ). Предполагается, что по известной траектории можно частично оценить эффективность обработки деталей (осуществления процесса съема металла с обрабатываемых деталей при взаимном проскальзывании и соударении с гранулированной

абразивной средой). Исходным разрешающим уравнением для поставленной модульной задачи является уравнение, которое было взято для анализа кинематики и динамики одной материальной точки, движущейся по внутренней поверхности вращающегося конуса [2]:

$$m\vec{a}_r = \vec{P} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{\Phi}_e + \vec{\Phi}_c, \quad (1)$$

где  $\vec{P} = m\vec{g}$  – вес;

$N$  – сила нормального давления;

$|\vec{F}_{\text{тр}}| = fN$  – кулоновская сила трения; причем

$\vec{F}_{\text{тр}} \uparrow \downarrow \vec{v}_r$ ,  $v_r$  – относительная скорость;

$\Phi_e = m\omega^2 r$  – переносная сила инерции;

$|\Phi_c| = 2|\vec{\omega} \cdot \vec{v}_r| \sin(\vec{\omega}, \vec{v}_r)$  – кориолисова сила инерции;

$\alpha$  – угол конусности оболочки.

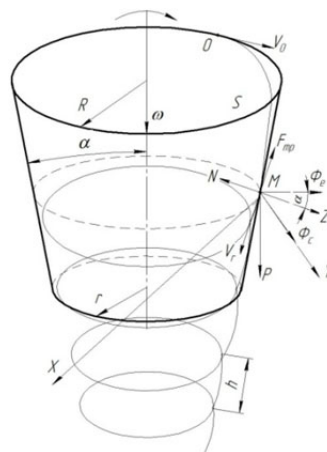


Рис. 1. Рабочая камера устройства для отделочно-зачистной обработки – оболочка в виде усеченного конуса. Точка M – начало координат движущейся системы

В рассматриваемом случае относительной траекторией является винтовая линия  $S$  (наподобие конической пружины) – эффективная траектория, пересекающая окружность радиуса  $r$  в точке  $M$  и лежащая в перпендикулярной плоскости к оси вращения.

Рассматривая движение в камере, следует учитывать явление «подпрыгивания» элементов загрузки, передаваемого от кулачкового механизма, расположенного под камерой (источник колебаний), и возможность поочередного вращения в

противоположные стороны от реверсного электродвигателя [1].

Выполним кинематический и силовой анализ относительного движения детали по винтовой конической траектории  $S$  с наклонным шагом  $h$ , зависящим от параметров движения  $f, v_0, \alpha, \omega$ .

Проецируя (1) на оси подвижной системы  $MXY(s)Z$  координат ( $s$  – дуговая координата), запишем дифференциальные уравнения относительного движения точки (детали) [2]:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mg\cos\alpha - F_{\text{тр}} - \Phi_e\sin\alpha \\ m\ddot{s} = \Phi_c\sin\alpha \\ m\ddot{z} = mg\sin\alpha - N + \Phi_e\cos\alpha \end{cases} \quad (2)$$

с соответствующими краевыми условиями, отвечающими положению детали в камере в месте, указанном на рис. 1:

$$x_0 = 0, \dot{x}_0 = 0, s_0 = 0, \dot{s}_0 = v_0. \quad (3)$$

Численная реализация системы уравнений (2), (3) приведена для параметров [3]:

$$\omega = 0, (1), 2, (3) \text{ с}^{-1};$$

$$\alpha = 40^\circ; (65^\circ); (70^\circ);$$

$$f = 0, (0.2), 0.4, (0.5),$$

входящих в диапазон экспериментальных и эксплуатационных значений. В скобках отмечены параметры обращения в ноль относительной скорости  $v_r = \dot{s}$  и максимальной длины  $s$ , связанной с работой сил и отвечающей энергетическому критерию, в этих местах, включая места бесконтактного «пролета», обработка деталей отсутствует.

Отметив полученные результаты [3] и дополнения к ним в настоящей публикации можно заключить, что раздел динамики относительного движения точки и системы с учетом трения может быть использован при изучении проблем износа, разрушения поверхности и ее упрочнения.

**Выводы.** В статье предложен математический аппарат решения задачи динамики относительного движения точки и системы, который решает прикладную технологическую задачу обработки в среде абразивных гранул в камере конической формы.

### Л и т е р а т у р а

1. Анализ прочности устройства с эксцентриковым приводом / М.Д. Солодовник, С.Н. Ясуник, И.В. Волков, М.Н. Кузнецова // Молодежная наука: вызовы и перспективы: [Электронный ресурс]: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции / Отв. редактор О.В. Карсунцева. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2021. – С. 278-283.

2. Курс теоретической механики / под общ. ред. К.С. Колесникова. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 96 с.

3. Ермаков Б.Е. Задачи динамики точки при наличии сухого трения – М.: Либроком, 2013. – 96 с.

Solodovnik M.D., Yasunik S.N., Volkov I.V.,  
Kuznetsova M.N.

### TREATMENT WITH FREE ABRASIVES IN A CONICAL CHAMBER

*The article considers the possibility of finishing and stripping of parts in a device with a working chamber in the form of a truncated cone. The relative motion of the part in the medium of free abrasives in this chamber is described. Rational parameters of movement are determined.*

**Key words:** finishing and stripping, abrasive, part, shell, cone, inertia force, relative motion.

**Солодовник Михаил Дмитриевич**, к.ф.-м.н., доц., доцент кафедры технологии машиностроения и инженерного консалтинга ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**Solodovnik Mikhail**, Candidate of Physical and Mathematical sciences, associate professor, associate professor of the department of engineering technology and engineering consulting at the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Ясуник Светлана Николаевна**, к.т.н., доц., доцент кафедры технологии машиностроения и инженерного консалтинга ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** jsn7628620@mail.ru.

**Yasunik Svetlana**, Candidate of Technical sciences, associate professor, associate professor of the department of engineering technology and engineering consulting at the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Волков Игорь Владимирович**, к.т.н., доц., доцент кафедры технологии машиностроения и инженерного консалтинга ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

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

**Volkov IgorVladimirovich**, Candidate of Technical sciences, associate professor, associate professor of the department of engineering technology and engineering consulting at the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

**Кузнецова Марина Николаевна**, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения и инженерного консалтинга ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** kuz\_mari@rambler.ru.

**Kuznetsova Marina**, senior lecturer of the department of engineering technology and engineering consulting at the SEE HT LPR «Lugansk Vladimir Dahl State University».

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

Статья подана 15.03.2022

УДК 316.6

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ СКВОЗЬ ПРИЗМУ ЦЕННОСТНО-ПРАВСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ

Хорошко В.О.

## CHARACTERISTICS OF DECISION-MAKING THROUGH THE PRISM OF VALUE-MORAL DIMENSION

Khoroshko V.

*Определено и охарактеризовано актуальные этические дилеммы во врачебной деятельности: независимость и манипулирование, патернализм и самоопределение, необходимость говорить правду, конфиденциальность и закрытый характер общения, разоблачение, законы и благосостояние пациента, личные и профессиональные ценности. Акцентируется внимание на важности учитывать местные условия сферы здравоохранения при решении организационных вопросов и непосредственно врачебной деятельности. Представлено требование к оперативной информации, что поступает к медицинскому работнику и определяет его дальнейшие действия. Представлено и охарактеризовано базовые составляющие, что должны учитываться в ходе принятия врачебных решений.*

**Ключевые слова:** доказательная медицина; этическая дилемма; оперативная информация; этический кодекс; специализированная информационная служба.

**Введение.** Рассмотренные нравственные парадигмы и ценностные ориентации – жизнь, человеческое достоинство, человечность, доброта, любовь, благополучие людей, социальная справедливость, ответственность – являются фундаментом, на котором строится конкретная врачебная деятельность.

На практике медицинским работникам приходится сталкиваться с множеством этических проблем и дилемм из-за своих обязательств перед пациентами, коллегами, своей профессией и обществом в целом. Эти проблемы чаще всего расплывчаты, неопределенны и порождают неуверенность, стремление их игнорировать и уклоняться от них.

Легко на словах, абстрактно придерживаться величественных ценностей, изложенных в монографиях и учебниках, и, таким образом, продемонстрировать свою ответственность. Но не только трудно, но иногда и опасно применять такие абстрактные ценности, как самоопределение или суверенитет личности пациента, для руководства повседневной работой, если они вызывают у врача ложное чувство самодовольства, в то время как пациент не в состоянии адекватно воплощать их в жизнь.

При проведении исследования акцентируется внимание на научных доработках ряда ученых Р. Г. Апресян, С. Е. Бащинский, Н. В. Верещагин, О. Ю. Реброва, В. А. Горьков, А. Я. Иванюшкин, А. К. Хетагурова, Х. Ленк, Ф. Г. Ример,

S. Campbel, S. Benita, E. Coates, P. Davies, G. Penn, P. Fafard, G. H. Guyatt, M. Stewart, L. Meredith, J. Belle Brown, J. Galajda.

**Целью работы** является анализ принятия решения сквозь призму ценностно-нравственного измерения.

При этом необходимо решение ряда **задач:** определить существующие дилеммы в сфере здравоохранения; рассмотреть роль доказательной медицины в принятии врачебного решения; проанализировать пятиэтапный подход для оптимизации передачи научной информации.

**Изложение основного материала.** Большинство трудностей для медицинского работника связано с необходимостью выбирать между двумя или более конфликтующими обязательствами. Например, многие национальные кодексы этики и законы требуют, чтобы медицинские работники не участвовали в деятельности, которая нарушает или умаляет гражданские или юридические права пациентов. При этом медицинские работники должны выполнять свои обязательства перед организацией-работодателем. Вполне реально, что эти два принципа противоречат друг другу, если политика учреждения здравоохранения, которому передаются права, приводит к нарушению гражданских прав пациентов.

Проблемные области и этические дилеммы не являются общими для разных стран из-за различий в культуре и государственном управлении. Каждая национальная ассоциация медицинских работников должна поощрять обсуждения, чтобы прояснить наиболее важные вопросы и проблемы, характерные для страны. Тем не менее можно выделить группу этических дилемм, которые рано или поздно возникают в практической медицинской работе в любом обществе и к преодолению которых в силу превентивной ответственности следует быть готовым.

1. Независимость и манипулирование. Для медицинского работника, считающего самостоятельность человека одной из базовых

ценностей, любой контроль над его поведением выглядит как манипуляция и, следовательно, как разрушение самой сути гуманизма. Там, где можно решать проблемы, не манипулируя волей человека, о ценностях не может быть и речи. Но если такое решение невозможно без хотя бы незначительного воздействия или навязывания ценностей, а цель заманчивая и реальная, перед медицинским работником встает этическая дилемма. Например, настаивая на том, что человек должен не мириться с обстоятельствами, а стремиться их изменить, что необходимо рационально использовать достоверные знания и планировать свое будущее, медицинский работник не может быть уверен, что благодаря его усилиям жизнь станет более совершенной. Он не может быть уверен, что эта ситуация не ухудшится от его вмешательства.

При работе с пессимистичными людьми медицинские работники часто используют такие выражения, как «безразличие и сопротивление пациента», «помощь пациенту в понимании своего положения и необходимости его преодоления», «помощь человеку в выработке его устойчивости к трудностям» и другие. Однако в определенном смысле эти выражения являются лишь эвфемизмами стремления внедрить в сознание людей ценности самого медицинского работника и его веру в успех перемен, что, вероятно, следует рассматривать как форму манипуляции [1].

В этих и других подобных ситуациях решается вопрос о границах независимости лица от воли медицинского работника, праве клиента на принятие решения и обязанности медицинского работника определять, в какой степени он может это предоставить. Право на пациента спорно. Поэтому в врачебной деятельности необходимо ограничение возможностей манипулирования сознанием и поведением, чтобы сориентировать пациента на выявление собственных ценностей и соотнесение с ними своих действий. Когда в центре внимания находятся собственные ценности пациента, снижается возможность манипулирования. Для этого необходимо развивать у пациента способность делать осознанный и целенаправленный выбор ценностей и нести ответственность за этот выбор.

2. Патернализм и самоопределение. Одна из ключевых ценностей медицинской работы, благополучие пациентов, тесно связана с проблемой патернализма. Патерналистская парадигма предполагает опекунскую модель отношений медицинского работника и клиента, «уводя» последнего, допуская вмешательство в его желания или свободу для его же блага. В интересах пациента, защищая его от самого себя, патернализм считает возможным ограничить саморазрушающие действия пациента, обязать его принимать услуги против его воли или принудительно, утаивать информацию или предоставлять дезинформацию и т. п.

Эта практика воспринимается неоднозначно и вызывает споры о пределах допустимости

патернализма. С одной стороны, считается возможным предоставить пациенту право на определенные формы саморазрушающего и рискованного поведения, с другой стороны, медицинские работники несут ответственность за защиту пациентов от самих себя в случае их неадекватного восприятия мира и действия. Эта этическая дилемма связана с самоопределением пациентов и их способностью понимать свою ситуацию и принимать наилучшее решение.

В современном мире патерналистская модель врачебной работы постепенно теряет свои позиции – быстрее на Западе, гораздо медленнее в России. Усиливается принцип информированного согласия, превращая пациента из пассивного получателя услуг и объекта манипуляции в партнера. Это означает, что медицинский работник и пациент принимают совместное решение о помощи и признают, что обе стороны вносят значительный вклад во взаимоприемлемый и эффективный характер сотрудничества. Ведь только пациент знает свои ценности, которые становятся определяющими в оценке ожидаемых результатов ухода. Большинство людей заинтересованы в принятии собственных решений, влияющих на их жизнь.

Самоопределение человека является одной из высших ценностей, и медицинская сфера не должна быть исключением [1].

3. Необходимость говорить правду. Эта дилемма связана с предыдущей и заключается в том, что, с одной стороны, не ставится под сомнение законное право пациентов на получение достоверной информации о делах, связанных с их состоянием и самочувствием, и считается, что нельзя лишить их правдивой информации или предоставить дезинформацию. С другой стороны, в некоторых случаях представляется этически оправданным и даже необходимым скрывать правду от пациентов или дезинформировать в их собственных интересах.

В западной практике медицинской сферы преобладает первая позиция, в то время как в России пока остается вторая. В сочетании с низкой правовой культурой акцент на возможности обмана, пусть даже «спасительного», является размыванием моральных ценностей и профессиональной этики, а также реальной основой не только для нарушений закона, но и для криминализации отношений «медицинский работник-пациент».

4. Конфиденциальность и закрытый характер общения. Все национальные кодексы этики и уставы содержат положение о том, что медицинский работник, уважая личность и достоинство пациента, должен хранить полученную от него информацию строго конфиденциально. Информация, использованная в одном случае, не должна использоваться в других целях без соответствующих санкций. Хотя это почти всегда верно, в некоторых случаях медицинские работники вынуждены рассматривать вопрос о раскрытии конфиденциальной информации, например, перед лицом угрозы пациента третьей стороной. Отсюда возникает необходимость

информировать пациента о пределах конфиденциальности в конкретной ситуации, о целях получения информации и ее использования, при этом получить согласие пациента, например, на распечатку, запись разговора или участие третьего лица [6].

Хотя профессиональная этика разрешает раскрытие конфиденциальной информации, среди медицинских работников нет согласия, при каких условиях это раскрытие является приемлемым. Считается, что к этому могут подтолкнуть чрезвычайные обстоятельства. Отсутствие ясности в этом вопросе вызывает необходимость более глубокого обсуждения нравственных основ проблемы. Кроме того, при определенных обстоятельствах рассматриваемую дилемму можно квалифицировать не только как этическую, но и как этико-правовую.

5. Разоблачение. Иногда медицинские работники вынуждены или сознательно нарушать закон или нарушать правила учреждений, в которых они работают. При этом они ставят перед моральным выбором своих коллег, узнавших об этих нарушениях. На одной чаше весов нормы профессиональной этики, на другой – профессиональная лояльность и солидарность, чувство дружбы, репутации, угроза собственному положению.

Бремя и сложность такого выбора заставляют медицинских работников с осторожностью выявлять и предать гласности правонарушения в своей профессии. Поэтому те из них, кто получил информацию и доказательства этически или юридически неправомерных действий своих коллег, вынуждены тщательно взвешивать свои действия с учетом своих обязательств перед профессией, пациентами, коллегами, больницей, своим будущим.

6. Законы и благосостояние пациента. Законодательство не может предусмотреть всего многообразия общественной жизни, поэтому иногда благополучие пациента вступает с ним в противоречие. В некоторых случаях следование букве закона может нанести ущерб пациенту, что ставит медицинских работников перед трудным выбором. Некоторые из них считают приемлемыми любые действия по защите интересов пациента, даже если они нарушают закон или иные этические нормы; большинство медицинских работников выбирают закон. В России приоритет часто отдается нравственным решениям. Как и в случае с другими этическими дилеммами, здесь нет простых ответов.

7. Личные и профессиональные ценности. Другая группа этических дилемм основана на конфликте личных и профессиональных ценностей медицинского работника. Он может не соглашаться с пациентом по политическим, религиозным, моральным и другим причинам, но обязан выполнять свой профессиональный долг. Мнения медицинских работников о том, каким ценностям отдавать приоритет, не всегда совпадают. В каждом случае медицинский работник должен сбалансировать обязательства перед пациентом, профессией, больницей, коллегами, третьими лицами и самим

собой. Здесь также необходимо понимать характер воздействия субъективных ценностей на осознание проблем другого – пациента, специфику работы, применение специальных знаний [8].

Эти и другие этические проблемы требуют разработки путей их преодоления. В теоретическом плане в истории философии, этики и религии на протяжении многих сотен лет было предложено множество теорий и идей относительно нравственных противоречий. Многие из них могут быть положены в основу решения этических проблем в медицине, которые тем не менее имеют свои особенности, обусловленные спецификой не только профессии и времени, но и каждой страны, к которой это относится.

В известной мере положение облегчается тем, что аналогичные проблемы разрабатываются и в других областях человеческой деятельности – науке, технике, медицине, педагогике, психологии и др. На стыке биомедицины и этики биоэтика возникла как исследовательское направление междисциплинарного характера. Разработанные здесь решения могут быть полезны для медицины.

Кодексы этики, в которых медицинские работники ищут ответы, не всегда способны удовлетворить их потребности, поскольку, во-первых, они составлены в общих чертах и с достаточно высокой степенью абстракции, во-вторых, содержат принципы, которые в ряде случаев сами по себе противоречивы – представляют собой этическую дилемму.

В любом случае рассмотренные проблемы подтверждают, что в динамичном мире перманентной переоценки ценностей и «борьбы богов», продолжения традиций и рождения новой картины мира ни одна человеческая «система «мысли и ценности, в том числе религиозные и основанные на светских гуманистических принципах, могут претендовать на воплощение полной истины, подлинной «святости» и совершенства. Это касается и медицины во всех ее содержательных и национальных формах, ее духовно-нравственных парадигм и ориентиров. Основная миссия медицины – помочь человеку стать человеком, обрести чувство солидарности с другими людьми и разделить ответственность за их судьбу. Это этика солидарности, преодоления отчуждения и разделения людей в этом мире.

Медицина – одна из самых динамично развивающихся областей науки. Данные о научных разработках в области высоких технологий и лекарств устаревают через 3–5 лет после публикации [3]. Это требует постоянного мониторинга больших объемов научных публикаций и своевременного информирования руководителей здравоохранения, научного сообщества и практических работников о новшествах и областях их применения.

Важно иметь в виду, что научной информацией пользуются не только ученые. Большую потребность в научной информации испытывают как практикующие врачи, так и руководители органов и учреждений

здравоохранения. При этом каждая из этих групп имеет свои информационные потребности.

Таким образом, для практикующих врачей важна достоверная научная информация о тех или иных новых методах лечения и диагностики или фармацевтических препаратах, успешно прошедших клинические испытания. Такая информация специфична и требует обширной предварительной аналитической и синтетической обработки [7].

Среди предпосылок, способствующих развитию «доказательного подхода» для клинической практики, можно также назвать старение информации – в процессе подготовки к изданию учебников по отдельным медицинским специальностям данные устаревают. Так как подготовка учебника обычно занимает несколько лет, и за этот период многое меняется [4].

Целью доказательной медицины является поиск, отбор и интерпретация достоверных результатов исследований [11].

Доказательный подход изначально стал активно применяться в клинической фармакологии. Намечалась тенденция отхода от мнения экспертов в сторону более широкого использования проверенных методов лечения, эффективность которых была клинически доказана в большом количестве научных исследований, включая исследования долгосрочных результатов. Эта тенденция нашла отражение в попытке разработать стандартизированные подходы к лечению распространенных заболеваний (клинические рекомендации, протоколы и клинические руководства), а также в составлении систематических обзоров данных исследований. При этом были определены необходимые параметры количества научных наблюдений и выработаны жесткие требования к отбору качественных исследований и достоверности результатов, при наличии которых можно было составлять систематические обзоры и клинические рекомендации [3].

Фармакоэкономика стала важным направлением в использовании доказательной медицины. Анализ экономической эффективности лечения приобретает в последние годы все большее значение в связи с удорожанием лекарств и медицинских технологий. Поэтому широко используются обоснованные доказательства экономической эффективности применения того или иного препарата или метода лечения.

Наиболее ярким представителем продвижения теории доказательной медицины является Кокрейновский центр (Великобритания) и созданное на основе его идеологии Кокрановское международное сообщество, объединяющее центры в разных странах мира, в том числе и в России. Целью этих центров было обобщение результатов научных исследований в систематических обзорах и создание клинических руководств на доказательной основе [2].

Постепенно круг применения доказательной медицины стал расширяться. С момента своего образования в начале 1990-х годов и по настоящее

время в развитых странах мира количество центров в этой области неуклонно растет и исчисляется уже десятками, а количество публикаций, семинаров и конференций составляет сотни [9].

В 2000-е годы в мире стал активно внедряться принцип использования доказательного подхода к выработке управленческих решений в здравоохранении на основе оценки имеющихся исследований организационных проблем, отбора наиболее доказательных из них и использование научных разработок при формировании того или иного решения о внедрении новых технологических или организационных мероприятий. В настоящее время этот путь является самой современной стратегией развития организационных инноваций во всем мире. Такой подход помогает лицам, принимающим решения, выбирать наиболее экономичные и в то же время наиболее эффективные меры, чтобы избежать ненужных финансовых затрат в условиях ограниченности ресурсов [10].

Во Всемирном отчете ВОЗ «Знания для лучшего здоровья» [13] говорится, что «систематические обзоры стали предпочтительным методом обучения и усвоения результатов исследований. Применяя строгие и прозрачные методы синтеза исследований, систематические обзоры уменьшают предвзятость и случайные ошибки. Они все чаще используются для информирования лиц, принимающих решения, об определенных видах вмешательств. Однако до недавнего времени систематические обзоры гораздо чаще использовались в клинических и фармакологических исследованиях и гораздо реже в исследованиях, касающихся принятия решений в области здравоохранения. В то же время количество публикаций в биомедицинских и клинических журналах и самих журналах по клинической медицине значительно превышает количество публикаций и журналов, связанных с исследованиями систем здравоохранения. Например, в обзорах Cochrane Collaboration только 1 / 10 всех систематических обзоров посвящены общественному здравоохранению и системам здравоохранения. Кроме того, систематические обзоры невозможны, если для анализа недостаточно публикаций, что, в свою очередь, затрудняет разработку политики, основанной на фактических данных.

Более 90% научных публикаций в области здравоохранения публикуются исследователями из развитых стран мира. Исследователи в богатых странах имеют относительно легкий доступ к научной информации, но в бедных странах доступ к Интернету остается низким, и немногие исследователи или учреждения могут позволить себе высокую стоимость подписки на журналы (печатные или электронные). Неравенство в доступе усугубляется огромным количеством статей о здоровье, публикуемых каждый год, а также языковым барьером [5].

**Результаты исследований.** При разработке подхода к решению организационных вопросов в системе здравоохранения или вмешательству

необходимо учитывать местные условия каждой отдельной страны. Отсутствие данных по развивающимся странам очень затрудняет разработку узко направленных подходов к организационным решениям, а отчеты и систематические обзоры, подготовленные без учета исследований конкретных стран, не дают полного представления о состоянии системы здравоохранения страны и вклад медицинских исследований в этих странах. в укреплении национальной системы здравоохранения.

Этот тезис справедлив и для стран с переходной экономикой, и в частности для России, которая в 1990-е годы провела ряд реформ национальных систем здравоохранения по образцу развитых стран. В то же время не все реформы приживались на национальной почве, т. к. в начале их реализации часто не учитывались условия существовавшей тогда системы здравоохранения.

Оперативная информация должна содержать данные и краткую аналитическую информацию о текущем положении дел в той или иной сфере. Поскольку в последние годы в процессе глобализации все страны взаимозависимы, необходимо привести достоверные (на основе сопоставимых данных) международные сопоставления о развитии того или иного направления.

Даже текст сообщения имеет свои особенности. Он должен быть представлен четким, понятным языком, не насыщен научными терминами, и в то же время содержать иллюстрации в виде графиков, таблиц и т.д., чтобы наглядно показать тенденции.

Таким образом, лица, принимающие решения, должны краткая конкретная информация по отдельным проблемам, в которой должны быть отражены 4 компонента [12]:

- в чем проблема с точки зрения того, кто принимает решение? Что показывают последние научные исследования?

- отличаются ли принимаемые сегодня решения от тех, что сформулированы на основе имеющихся научных данных?

- кто должен принимать необходимые меры и что делать?

Важным моментом в представлении результатов научных исследований является учет местных условий и адаптация к ним данных, которые были получены в других странах.

В частности, лицам, принимающим решения, необходима следующая информация:

- знания о приоритетных проблемах здоровья;

- знание проверенных способов решения приоритетных проблем (например, проверенная экономически эффективная профилактика или конкретные методы лечения с учетом профиля заболевания в данной стране);

- данные о значении необходимых изменений (или преобразований) и данные о том, насколько эффективными могут быть предлагаемые меры в конкретных местных условиях;

- данные о механизмах, доказавших свою эффективность, для внесения изменений (преобразований).

Еще одним важным аспектом предоставления необходимой информации является создание специальной инфраструктуры для сбора, хранения и обработки результатов научных исследований. Этот тезис подкрепляется приведенным выше утверждением – об огромном массиве научных публикаций, имеющихся в настоящее время в мире, что требует огромных затрат времени и финансовых ресурсов со стороны не только отдельного ученого или политика, но и со стороны научных учреждений бедных стран для их изучения, анализа и интерпретации.

ВОЗ рекомендует в этом случае использовать специализированные информационные службы или структуры брокеров знаний, которые могут создавать и поддерживать отношения между теми, кто проводит исследования, и теми, кто использует их результаты. «Второй важной деятельностью «информационных посредников» должно быть направленное распространение информации. Тезис о том, что «знания необходимы для улучшения здоровья», должен выходить за рамки пассивного распространения результатов».

Во Всемирном отчете о знаниях для лучшего здоровья предложен 5-этапный подход для улучшения передачи научной информации:

- подготовка сообщения на основе систематических обзоров, по результатам которых могут осуществляться определенные действия;

- установление наиболее подходящей аудитории для указанной цели;

- использование надежных средств передачи информации;

- использование проверенных подходов для передачи сообщения;

- оценка воздействия этого сообщения.

Инвестирование в написание «действующих» сообщений было бы более целесообразным, если бы самые авторитетные организации требовали, чтобы результаты исследований всегда представлялись в форме систематического обзора.

Другими словами, этот тезис ВОЗ подтверждает необходимость разработки структур научной и медицинской информации, которые бы собирали, обрабатывали и распространяли результаты научных исследований и выпускали вторичные информационные издания с учетом потребностей конкретной аудитории.

**Выводы.** Философия является научно-методической основой формирования профессиональных компетенций и ценностных ориентаций медицинских специалистов в процессе обучения и в практических видах деятельности. Гносеологическая составляющая мировоззрения врача способствует реальному отражению и преобразованию бытия, жизненной ценности и идеалов, нравственной нормы и принципов,

направленность образовательной, исследовательской и практической деятельности в достижении высокого уровня идейно-духовного содержания своей личности. Это способствует развитию клинического мышления как основы успешной практической деятельности врача и характеризующую степень его врачебного профессионализма.

#### Л и т е р а т у р а

1. Апресян Р. Г. Первичные детерминанты нравственного опыта / Р. Г. Апресян // Вопросы философии. – 1993. – № 8. – С. 43.
2. Башинский С. Е. Разработка клинических практических руководств с позиций доказательной медицины / С. Е. Башинский. – М; Изд-во «Медиа Сфера». 2004. – 135 с.
3. Верещагин Н. В., Реброва О. Ю. Методы лечения в зеркале доказательной медицины / Н. В. Верещагин, О. Ю. Реброва // Главврач. – 2002. – №2. – С. 25–29.
4. Горьков В. А. Медицина, основанная на доказательствах (Evidence-based medicine) / В. А. Горьков, А. В. Быков, О. С. Медведев, Д. Харпер, Ю. Ю. Чурилин // Фарматека. – 1998. – №3. – С. 40–43.
5. Иванюшкин А. Я., Хетагурова, А. К. История и этика сестринского дела / А. Л. Иванюшкин, А. К. Хетагурова. – М.: ГОУ ВУНМЦРФ. 2003. – 320с.
6. Ленк Х. Ответственность в технике, за технику, с помощью техники / Х. Ленк // Философия техники в ФРГ. – М., 1989. – С. 372–392.
7. Обеспечение качества медицинской помощи с использованием подходов доказательной медицины. / Под ред. Таранова А. М., Андреевой О. В. – Москва. 2004. – 256 с.
8. Ример Ф. Г. Ценности и этика. Энциклопедия социальной работы / Ф. Г. Ример. – Т. 3. – 1994. – С. 385–392.
9. Campbell S. Analysis for policy: evidence-based policy in practice / S. Campbell, S. Benita, E. Coates, P. Davies, G. Penn. – 2007. Режим доступа: <http://www.gsr.gov.uk>
10. Fafard P. Evidence and healthy public policy: insights from health and political sciences / P. Fafard. – National Collaborating Centre for Healthy Public Policy. Quebec. 2008. – 27 p.
11. Guyatt G. H. Evidence-based medicine / G. H. Guyatt // ACP Journal Club. – 1991. – Vol. 114. – P. 4–16.
12. Stewart M. The influence of older patient-physician communication on health and health-related outcomes / M.

Stewart, L. Meredith, J. Belle Brown, J. Galajda // Clin Geriatr Med. – 2000. – №16 (1) – PP. 25–36.

13. World report on knowledge for better health: strengthening health systems. – WHO. Geneva. 2004.

**Khoroshko V.**

#### CHARACTERISTICS OF DECISION-MAKING THROUGH THE PRISM OF VALUE-MORAL DIMENSION

*Ethical dilemmas in practical medical work are highlighted: independence and manipulation, paternalism and self-determination, the need to tell the truth, confidentiality and the closed nature of communication, exposure, laws and the well-being of the patient, personal and professional values. Attention is focused on the need to take into account the conditions of each country when solving organizational issues in the health care system. The requirements for operational information are determined. The basic components that should be taken into account in the course of making medical decisions are presented and characterized. A five-stage approach is considered to improve the transfer of scientific information, which is essential in making medical decisions. The importance of developing structures of scientific and medical information to meet the needs of a specific audience is indicated. The importance of the epistemological component of the doctor's worldview in the development of clinical thinking is confirmed.*

**Key words:** evidence-based medicine; ethical dilemma; operative information; ethical code; specialized information service.

**Хорошко Владислав Олегович**, врач хирург, травматолог, главный врач лечебно-профилактического заведения санаторно-курортного типа ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

**Khoroshko Vladislav Olegovich**, surgeon, traumatologist, head doctor of a medical and preventive institution of a sanatorium-resort type of SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Шелюто Владимир Михайлович**, д.филос.н., профессор кафедры философии ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

Статья подана 15.05.2022

УДК 519.21

# НЕКОТОРЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГАУССОВСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ПОЛЕЙ В $n$ -МЕРНОМ ЕВКЛИДОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ $R^n$

## ЧАСТЬ II: ОБ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ДВУХ ГАУССОВСКИХ МЕР, ПОРОЖДЕННЫХ РЕШЕНИЯМИ ДВУМЯ РАЗНЫМИ КРАЕВЫМИ ЗАДАЧАМИ ДИРИХЛЕ-НЕЙМАНА В ЕВКЛИДОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ $R^n$

Шаташвили А.Д., Папазова Е.Н., Фомина-Шаташвили Т.А., Ивахненко Н.Н.

# SOME LINEAR EQUIVALENT TRANSFORMATIONS OF GAUSSIAN RANDOM FIELDS IN $n$ -DIMENSIONAL EUCLIDEAN SPACE PART II: ON THE EQUIVALENCE OF TWO GAUSSIAN MEASURES GENERATED BY SOLUTIONS TO TWO DIFFERENT DIRICHLE-NEYMANN BOUNDARY PROBLEM IN EUCLIDE SPACE $R^n$

Shatashvili A.D., Papazova E.N., Fomina-Shatashvili T.A., Ivakhnenko N.N.

В настоящей работе продолжают исследования, начатые в нашей работе [5], где в  $n$ -мерном евклидовом пространстве  $R^n$  рассматривали две краевые задачи Дирихле-Неймана в некоторой открытой связной области  $Q \subset R^n$  с достаточно гладкой границей  $\partial Q \subset C^\infty(Q)$  для дифференциальных уравнений в частных производных эллиптического типа одного и того же порядка  $2k$  и возмущенных одним и тем же случайным гауссовским полем  $\xi(x, \omega)$ ,  $x \in R^n$  корреляционным оператором, порожденным корреляционной функцией  $R_\varepsilon(x, y)$ ,  $x, y \in R$ . В пространстве  $R^n$  так же рассматривается дополнительно третья краевая задача Дирихле-Неймана, для которой в явном виде, пока формально, строится функция Грина  $G_0(x, y)$ , которая в свою очередь, как ядро, порождает интегральный оператор Грина  $G_0$  в пространстве  $L_2(Q)$  функции, интегрируемой со своим квадратом в области  $Q$  по мере Лебега, т.е. в этом случае, по определению, оператор  $G_0$  является оператором Гильберта-Шмидта. Так же в работе [5] изучаемые краевые задачи сводятся к двум линейным взаимно однозначным преобразованиям в пространстве  $R^n$  случайного гауссовского поля  $\xi(x, \omega)$  с помощью функции Грина (или, что тоже, оператора Грина) к случайным гауссовским полям  $u(x, \omega)$  и  $v(x, \omega)$ , так как эти преобразования являются линейными пока что формально, и при установлении условий, когда при которых этот факт имеет место, мы этим докажем по самому построению существование и единственность

решения краевых задач  $u(x, \omega)$  и  $v(x, \omega)$  соответственно, так как эти решения совпадают с преобразованными величинами при линейных преобразованиях исходного гауссовского случайного поля  $\xi(x, \omega)$ . Далее, учитывая, что эти решения являются случайными полями, они порождают меры на  $\sigma$ -алгебре  $\mathcal{Y}_{L_2(Q)}$ . Затем, в данной работе устанавливаются условия, при выполнении которых меры  $\mu_u$  и  $\mu_v$  эквивалентны ( $\mu_u \ll \mu_v$ ).

Для этого используется одна общая теорема Ю.Л. Далецкого из работы [4], для которой в нашем случае с помощью заданных коэффициентов дифференциальных уравнений и функции Грина строится критерий Далецкого из указанной теоремы, который обеспечивает необходимые и достаточные условия эквивалентности мер  $\mu_u$  и  $\mu_v$  ( $\mu_u \ll \mu_v$ ), в явном виде в терминах коэффициентов дифференциальных уравнений вычисляется плотность Радона-Никодима. Кроме того, в предлагаемой работе все факты, которые были приведены формально в работе [5], доказываются в строгой математической логике при выполнении некоторых конкретных условий.

**Ключевые слова.** Функция Грина, оператор Грина, оператор Гильберта-Шмидта, плотность Радона-Никодима, эквивалентность мер, критерий Далецкого, краевые задачи Дирихле-Неймана.

**§3. Об эквивалентности гауссовских мер, порожденных решениями разными краевыми задачами Дирихле-Неймана в евклидовом пространстве  $R^n$ .**

Как выше в Аннотации уже отмечалось, в данной работе продолжают исследования, начатые нами в работе [5], где в  $n$ -мерном евклидовом пространстве  $R^n$  рассматриваются две краевые задачи Дирихле-Неймана в некоторой открытой связной области  $Q \subset R^n$  с достаточно гладкой границей  $\partial Q$ , например,  $\partial Q \subset C^\infty(Q)$ , для дифференциальных уравнений в частных производных эллиптического типа одного и того же порядка  $2k$  и возмущенных одним и тем же случайным гауссовским полем  $\xi(x, \omega)$ ,  $x \in R^n, \omega \in \Omega$ . Сразу же здесь мы допускаем, что задано некоторое фиксированное вероятностное пространство  $\{\Omega, \gamma, P\}$ . Относительно гауссовского поля  $\xi(x, \omega)$  мы в дальнейшем будем предполагать, не умаляя общности, что  $M\xi(x) = 0$  и его корреляционная функция  $R_\xi(x, y)$ ,  $x, y \in R^n$  удовлетворяет следующему условию (как это было принято в части I данной работы).

$$\int_Q R_\xi(x, x) dx < \infty, \quad x \in R_n \quad (2.0)$$

Ниже всюду через  $(R^n, \gamma_{R^n})$  будем обозначать измеримое евклидово пространство, где  $R^n$  – само евклидово пространство, а  $\xi_{R^n}$  –  $\sigma$ -алгебра измеримых его подмножеств. Аналогично, через  $(L_2(Q), \gamma_{L_2(Q)})$  – будем обозначать измеримое пространство действительных функций из евклидова пространства  $R^n$  интегрируемых со своим квадратом по мере Лебега в области  $Q$ , где  $L_2(Q)$  – обозначает пространство таких функций, выделенных из евклидова пространства  $R^n$ , а  $\gamma_{L_2(Q)}$  –  $\sigma$ -алгебра измеримых подмножеств пространства  $L_2(Q)$ . Очевидно, что  $(L_2(Q), \gamma_{L_2(Q)}) \subset (R^n, \gamma_{R^n})$ .

Ниже, для полноценного изложения тех исследований, которые будут проводится в данной работе, мы приведем еще раз саму постановку задачи, представленную в работе [5] и некоторые результаты, полученные в данной работе.

Итак, пусть  $\{\Omega, \gamma, P\}$  – как уже выше отмечалось, обозначает некоторое вероятностное пространство и в  $n$ -мерном евклидовом пространстве  $R^n$  в открытой связной области  $Q \subset R^n$  с достаточно гладкой границей  $\partial Q$  (для определенности  $\partial Q \subset C^\infty(Q)$ ), рассматриваются две разные  $2k$ -мерные краевые задачи Дирихле-

Неймана для дифференциальных уравнений в частных производных эллиптического типа, имеющие один и тот же источник случайного гауссовского возмущения – случайное поле  $\xi(x, \omega), x \in R^n, \omega \in \Omega$  краевую задачу I и краевую задачу II :

$$\begin{cases} L_1[u] = \sum_{m_1+m_2+\dots+m_l=2k} a_{m_1, m_2, \dots, m_l}(x) \times \\ \times \frac{\partial^{2k} u(x, \omega)}{\partial x_1^{m_1} \partial x_2^{m_2} \dots \partial x_l^{m_l}} + D_1[u(x, \omega)] = \end{cases} \quad (2.1)$$

$$I \begin{cases} = \xi(x, \omega) \\ x = x(x_1 \dots x_l) \in R^n, \omega \in \Omega \\ \left. \frac{\partial^m u(x, \omega)}{\partial n^m} \right|_{\partial Q} = 0, \quad m = 0, 1, 2, \dots, k-1 \end{cases} \quad (2.2)$$

где  $\frac{\partial^m}{\partial n^m}$  –  $m$ -ая производная по направлению нормали.

И

$$\begin{cases} L_2[v] = \sum_{m_1+m_2+\dots+m_l=2k} a_{m_1, m_2, \dots, m_l}(x) \times \\ \frac{\partial^{2k} v(x, \omega)}{\partial x_1^{m_1} \partial x_2^{m_2} \dots \partial x_l^{m_l}} + D_2[v(x, \omega)] = \end{cases} \quad (2.3)$$

$$II \begin{cases} = \xi(x, \omega) \\ x = x(x_1, x_2, \dots, x_l) \in R^n, \omega \in \Omega \\ \left. \frac{\partial^m v(x, \omega)}{\partial n^m} \right|_{\partial Q} = 0, \quad m = 0, 1, 2, \dots, k-1 \end{cases} \quad (2.4)$$

где  $\frac{\partial^m}{\partial n^m}$  –  $m$ -ая производная по направлению нормали,  $\xi(x, \omega)$  – случайное гауссовское поле,  $D_i[\cdot]$  – дифференциальные операторы, порядок которых  $l_i, i=1, 2$  меньше чем  $2k$  и  $l_1 \neq l_2$ , а коэффициенты уравнения (2.1) и (2.3) должны обеспечивать существование и единственность решения краевых задач I и II, т.е. краевых задач (2.1), (2.2) и (2.3), (2.4). Для получения таких условий, мы поступаем следующим образом. В области  $Q \subset R^n$  рассмотрим еще один дифференциальный оператор вида:

$$\begin{aligned} L[\cdot] = & \sum_{m_1+m_2+\dots+m_l=2k} a_{m_1, \dots, m_l}(x) \times \\ & \times \frac{\partial^{2k}}{\partial x_1^{m_1} \partial x_2^{m_2} \dots \partial x_l^{m_l}} \end{aligned} \quad (2.5)$$

и для него рассмотрим еще одну, третью краевую задачу в области  $Q \subset R^n$ , вида:

$$III \begin{cases} L[w(x, \omega)] = 0, \\ \left. \frac{\partial^m w(x, \omega)}{\partial n^m} \right|_{\partial Q} = 0, \\ m = 0, 1, 2, \dots, k-1 \end{cases} \quad (2.6)$$

где  $\frac{\partial^m}{\partial n^m}$ ,  $m$ -ая производная по направлению нормали.

Как известно [3], если для краевой задачи III по коэффициентам уравнения (2.6) с учетом оператора (2.5) построить функцию Грина  $G_0(x, y)$ ,  $x, y \in Q$ , в явном виде, то с помощью  $G_0(x, y)$  при определенных условиях можно представить единственное решение краевой задачи III,  $w(x, \omega)$ , (см. например, [3], определения и свойства). Со своей стороны, если функцию  $G_0(x, y)$  рассматривать как ядро, она в  $L_2(Q)$  порождает интегральный оператор  $G_0$ , действующий в пространстве  $L_2(Q)$  по принципу:

$$(B\varphi)(x) = \int_Q B(x, y)\varphi(y)dy, \quad \varphi \in L_2(Q) \quad (2.7)$$

где  $B$  – интегральный оператор, действующий в  $L_2(Q)$  с ядром  $B(x, y)$ ,  $x, y \in Q$ . Учитывая структуру пространства  $L_2(Q)$ , ядро  $B(x, y)$ ,  $x, y \in Q$  порождающее интегральный оператор  $B$  в пространстве  $L_2(Q)$ , должно удовлетворять условию:

$$\iint_{Q \times Q} B^2(x, y) dx dy < \infty, \quad x, y \in Q \quad (2.7^*)$$

а оператор  $B$ , порожденный ядром  $B(x, y)$ ,  $x, y \in Q$  с условием (2.7\*), называется оператором Гильберта-Шмидта.

В первой части данной работы [см. 5] пользуясь свойствами функции Грина нам формально удалось решение краевых задач I и II,  $u(\omega)$  и  $v(\omega)$  свести к некоторым линейным преобразованиям заданного случайного поля  $\xi(\omega) \in L_2(Q)$ , к преобразованиям  $\mathcal{Q}_1[\cdot]$  и  $\mathcal{Q}_2[\cdot]$ , соответственно, где исходным элементом

преобразования является гауссовское поле  $\xi(\omega)$ , а преобразованными полями являются  $u(\omega)$  и  $v(\omega)$  соответственно:

$$\mathcal{Q}_1[u]: u(\omega) = A_1^{-1} G_0 \xi(\omega) \quad (2.8)$$

$$\mathcal{Q}_2[v]: v(\omega) = A_2^{-1} G_0 \xi(\omega) \quad (2.9)$$

где операторы  $A_1$  и  $A_2$  определяются из соотношения:

$$I + G_0 D_1[\cdot] = A_1 \quad (2.10)$$

и

$$I + G_0 D_2[\cdot] = A_2 \quad (2.11)$$

а  $I$  – обозначает единичный оператор и  $D_i[\cdot]$ ,  $i=1, 2$  являются линейными дифференциальными операторами порядка  $l_1$  и  $l_2$  меньшими, чем  $2k$ ,  $l_1 \neq l_2$ , фигурирующие в краевых задачах I и II соответственно.  $G_0 \in L_2(Q)$  – является интегральным оператором Грина. Ясно, что если операторы  $A_1$  и  $A_2$  обратимы и ограничены, то преобразование  $\mathcal{Q}_1[u]$  и  $\mathcal{Q}_2[v]$ , определенные по формулам (2.8) и (2.9) будут линейными преобразованиями, а также будут взаимно-однозначными линейными преобразованиями. Это означает, что во-первых преобразованные случайные поля по формулам (2.8) и (2.9),  $u(\omega)$ ,  $v(\omega)$  будут гауссовскими случайными полями, так как  $\xi(\omega)$  – гауссовское поле, а  $\mathcal{Q}_1[\cdot]$  и  $\mathcal{Q}_2[\cdot]$  – линейные преобразования, во-вторых, они будут представлять единственное решение краевых задач I и II соответственно.

Для всего этого, нам предстоит найти условия, которым отвечают коэффициенты дифференциальных уравнений (2.1) и (2.3), а также функцию Грина  $G_0(x, y)$ , построенную для оператора  $L[\cdot]$ , определенного по формуле (2.5), для строгого математического доказательства обратимости операторов  $A_1$  и  $A_2$ , их существования  $A_1^{-1}$  и  $A_2^{-1}$  и ограниченности и установления этих условий. В этом случае, преобразованные случайные элементы по формулам (2.8) и (2.9),  $u(\omega)$  и  $v(\omega)$ , как выше отмечалось, будут гауссовскими случайными полями, так как

$\xi(\omega) \in L_2(Q)$  является гауссовским случайным полем, а  $\mathcal{L}[\cdot]$  и  $\mathcal{Q}[\cdot]$  – линейные преобразования. Как известно, из теории случайных процессов, случайные процессы, а также случайные поля, порождают на  $\sigma$ -алгебре  $\mathcal{V}_{L_2(Q)}$  вероятностные меры. Обозначим через  $\mu_u$  и  $\mu_v$  меры соответствующие случайным полям  $u(\omega)$  и  $v(\omega)$  соответственно. Наша задача заключается в том, чтобы определить условия, которым будут удовлетворять коэффициенты дифференциальных уравнений (2.1) и (2.3) или некоторые операторы, построенные на базе этих уравнений, обеспечивающие эквивалентность, или в крайнем случае, абсолютную непрерывность мер  $\mu_u$  и  $\mu_v$  ( $\mu_u \sim \mu_v$ ) или ( $\mu_u \ll \mu_v$ ). С этой целью мы обратимся к одной общей теореме, доказанной Ю.Л. Далецким в работе [4], которая будет использована нами в дальнейшем при доказательстве нашего основного результата этой работы и сформулированной в виде теоремы.

**Теорема 1.** (Ю.Л. Далецкий [4]). Пусть  $H$  – сепарабельное гильбертово пространство и пусть в  $H$  заданы две гауссовские меры  $\mu$  и  $\nu$  с нулевыми средними ядерными корреляционными операторами  $B_1$  и  $B_2$  соответственно. Для того, чтобы меры  $\mu$  и  $\nu$  были эквиваленты ( $\mu \sim \nu$ ), необходимо и достаточно существование такого оператора Гильберта-Шмидта  $C$ , чтобы имело место представление:

$$B_1 - B_2 = B_2^{1/2} C (B_2^{1/2})^* \quad (3.1)$$

в противном случае они ортогональны ( $\mu \perp \nu$ ) (в формуле (3.1) знак  $*$  и везде далее означает сопряженность данного оператора).

В случае эквивалентности  $\mu$  и  $\nu$  плотность Радона-Никодима имеет вид:

$$\rho(x) = \frac{d\mu}{d\nu}(x) = \sqrt{\det(B_1 B_2^{-1})} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \langle (B_1 B_2^{-1} - I) x, x \rangle \right\} \quad (3.2)$$

где  $x \in H$ , символ  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  обозначает знак расширенного стохастического интеграла, а символ  $\det N$  обозначает регуляризированный определитель оператора  $N$  (см. [2]).

Здесь надо отметить, что так как гильбертово бесконечномерное пространство  $H$  сепарабельное, то оно содержит базис из собственных векторов

$\{e_k\}$ ,  $k=1,2,3,\dots$  корреляционного оператора  $R$ . Обозначим через  $\{\beta_k\}$ ,  $k=1,2,\dots$  соответствующие собственные числа этого базиса. Евклидово пространство  $R^n$  можно считать равным подпространству  $H_n$ , являющемуся в свою очередь проекцией  $P_n(e_1, e_2, \dots, e_n)$  гильбертового пространства  $H$ , натянутое на первые  $n$  векторов  $(e_1, e_2, \dots, e_n)$  базиса  $\{e_k\}$ ,  $k=1,2,\dots$  т.е.:

$$R^n = H_n = P_n(e_1, \dots, e_n) H \quad (3.3)$$

Поэтому все утверждения, которые принимаются в пространстве  $H$ , как в частном случае, являются справедливыми и для пространства  $H_n = R^n$ . Следовательно, Теорема 1, сформулированная выше для гильбертового пространства  $H$  справедлива и для пространства  $R^n$ .

Таким образом, чтобы воспользоваться Теоремой 1 в нашем случае, нам только надо вычислить разность  $R_u - R_v^{-1}$  и произведение  $R_u R_v^{-1}$ , так как по постановке задачи нам уже известно, что операторы  $R_u$  и  $R_v$  являются ядерными операторами.

Действительно, если операторы  $A_1$  и  $A_2$ , определенные по формулам (2.10) и (2.11) обратимы, т.е. существуют  $A_1^{-1}$  и  $A_2^{-1}$ , и ограничены, то можно считать, что их нормы в пространстве  $L_2(Q)$  удовлетворяют неравенствам, например, для  $A_1^{-1}$ :

$$\begin{aligned} \|A_1^{-1}\|_{L_2(Q)} &< a_1 = \text{const} \text{ и} \\ \|[A_1^{-1}]^*\| &< a_2 = \text{const} \end{aligned} \quad (1.*)"$$

Оператор Грина  $G_0$ , удовлетворяющий некоторым свойствам его построения и при условии (2.7\*), если считать в этой формуле вместо оператора  $B$ , оператор  $G_0$ , то он будет оператором Гильберта-Шмидта и поэтому его норма  $L_2(Q)$  будет ограничена. Поэтому, имеет место:

$$\|G_0\|_{L_2(Q)} < b_1 = \text{const} \quad (2.*)"$$

Если определить, например, из формулы (2.8) корреляционный оператор  $R_u$ , имеем:

$$\mathbf{R}_u = \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{G}_0 \mathbf{R}_\xi \left[ \mathbf{A}_1^{-1} \right]^* \mathbf{G}_0^* \quad (3.*)$$

Поэтому, с учетом (1.\*), (2.\*) и (3.\*) и ядерности  $\mathbf{R}_\xi$ , имеем следующую оценку:

$$\begin{aligned} |\mathbf{R}_u|_{L_2(Q)} &= \left| \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{G}_0 \mathbf{R}_\xi \left[ \mathbf{A}_1^{-1} \right]^* \mathbf{G}_0^* \right|_{L_2(Q)} \leq \\ &\leq \left| \mathbf{A}_1^{-1} \right|_{L_2(Q)} \left| \mathbf{G}_0 \right|_{L_2(Q)} \cdot \left| \mathbf{R}_\xi \right|_{L_2(Q)} \cdot \\ &\cdot \left| \left[ \mathbf{A}_1^{-1} \right]^* \right|_{L_2(Q)} \cdot \left| \mathbf{G}_0^* \right|_{L_2(Q)} \leq a_1 a_2 b_1^2 \left| \mathbf{R}_\xi \right|_{L_2(Q)} \leq \\ &\leq \text{const} \left| \mathbf{R}_\xi \right|_{L_2(Q)} < \infty \end{aligned} \quad (4.*)$$

Отсюда следует, что если оператор  $\mathbf{R}_\xi$  является ядерным оператором, то тогда и  $\mathbf{R}_u$  также является ядерным. Это следует из того, что в неравенстве (4.\*) надо воспользоваться ядрами  $G_0(x, y)$  и  $R_\xi(x, y)$ , порождающие интегральные операторы  $\mathbf{G}_0$  и  $\mathbf{R}_\xi$ .

Аналогичные рассуждения можно провести и для доказательства ядерности оператора  $\mathbf{R}_v$ . При получении формулы (3.\*), мы руководствовались изначальным условием  $\mathbf{M}\xi(x, \omega) = 0$ .

Ниже мы переходим к исследованию задач, поставленных в данной работе, со строгими математическими методами доказательств.

Вычислим сначала корреляционные операторы  $\mathbf{R}_u$  и  $\mathbf{R}_v$ . Из соотношения (2.18) и (2.19) из Части I данной работы (см. [5]) обычным способом следует:

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_u &= (\mathbf{I} + \mathbf{G}_0 D_1[\cdot])^{-1} \mathbf{G}_0 \mathbf{R}_\xi \times \\ &\times \left[ (\mathbf{I} + \mathbf{G}_0 D_1[\cdot])^{-1} \right]^* \mathbf{G}_0^* \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_v &= (\mathbf{I} + \mathbf{G}_0 D_2[\cdot])^{-1} \mathbf{G}_0 \mathbf{R}_\xi \times \\ &\times \left[ (\mathbf{I} + \mathbf{G}_0 D_2[\cdot])^{-1} \right]^* \mathbf{G}_0^* \end{aligned} \quad (3.5)$$

Представим корреляционные операторы  $\mathbf{R}_u, \mathbf{R}_v, \mathbf{R}_\xi$  в их факторизованном виде:

$$\mathbf{R}_u = \mathbf{K}_u \mathbf{K}_u^* \quad (3.6)$$

$$\mathbf{R}_v = \mathbf{K}_v \mathbf{K}_v^* \quad (3.7)$$

$$\mathbf{R}_\xi = \mathbf{K}_\xi \mathbf{K}_\xi^* \quad (3.8)$$

Тогда из соотношения (3.4) и (3.5), а также из (2.10) и (2.11) следует, что:

$$\mathbf{K}_u \mathbf{K}_u^* = \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{G}_0 \mathbf{K}_\xi \mathbf{K}_\xi^* \left[ \mathbf{A}_1^{-1} \right]^* \quad (3.9)$$

$$\mathbf{K}_v \mathbf{K}_v^* = \mathbf{A}_2^{-1} \mathbf{G}_0 \mathbf{K}_\xi \mathbf{K}_\xi^* \left[ \mathbf{A}_2^{-1} \right]^* \quad (3.10)$$

Отсюда, сравнивая тождества, имеем:

$$\mathbf{K}_u = \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{G}_0 \mathbf{K}_\xi \quad (3.11)$$

$$\mathbf{K}_v^* = \mathbf{K}_\xi^* \mathbf{G}_0^* \left[ \mathbf{A}_1^{-1} \right]^* \quad (3.12)$$

$$\mathbf{K}_v = \mathbf{A}_2^{-1} \mathbf{G}_0 \mathbf{K}_\xi \quad (3.13)$$

$$\mathbf{K}_v^* = \mathbf{K}_\xi^* \mathbf{G}_0^* \left[ \mathbf{A}_1^{-1} \right]^* \quad (3.14)$$

Из соотношений (3.13) и (3.14) определили выражения  $\mathbf{G}_0 \mathbf{K}_\xi$  и  $\mathbf{K}_\xi^* \mathbf{G}_0^*$  и подставили их в правые части формул (3.11) и (3.12) соответственно, отсюда окончательно получим:

$$\mathbf{G}_0 \mathbf{K}_\xi = \mathbf{A}_2 \mathbf{K}_v \quad (3.15)$$

$$\mathbf{K}_\xi^* \mathbf{G}_0^* = \mathbf{K}_v^* \mathbf{A}_2 \quad (3.16)$$

$$\mathbf{K}_u = \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{A}_2 \mathbf{K}_v \quad (3.17)$$

$$\mathbf{K}_u^* = \mathbf{K}_v^* \mathbf{A}_2^* \left[ \mathbf{A}_1^{-1} \right]^* \quad (3.18)$$

Полученные формулы (3.17) и (3.18) устанавливают соотношения между операторами  $\mathbf{K}_u$  и  $\mathbf{K}_v$ , также между  $\mathbf{K}_u^*$  и  $\mathbf{K}_v^*$ .

Теперь, используя эти соотношения, вычислим разность  $\mathbf{R}_u - \mathbf{R}_v$ . Учитывая, формулы (3.4) – (3.18), и, что  $\mathbf{K}_v \cdot \mathbf{K}_v^*$  симметрические операторы, мы имеем:

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_u - \mathbf{R}_v &= \mathbf{K}_u \mathbf{K}_u^* - \mathbf{K}_v \mathbf{K}_v^* = \\ &= \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{G}_0 \mathbf{K}_\xi \mathbf{K}_\xi^* \left[ \mathbf{A}_1^{-1} \right]^* - \mathbf{K}_v \mathbf{K}_v^* = \\ &= \mathbf{K}_v \mathbf{K}_v^* \mathbf{A}_1 \mathbf{G}_0 \mathbf{K}_\xi \mathbf{K}_\xi^* \mathbf{G}_0^* \left[ \mathbf{A}_1^{-1} \right]^* \cdot \\ &\cdot \left[ \mathbf{K}_v^{-1} \right]^* \cdot \mathbf{K}_v^* - \mathbf{K}_v \mathbf{K}_v^* = \\ &= \mathbf{K}_v \left[ \mathbf{K}_v^{-1} \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{G}_0 \mathbf{K}_\xi \mathbf{K}_\xi^* \mathbf{G}_0^* \cdot \right. \\ &\cdot \left. \left[ \mathbf{A}_1^{-1} \right]^* \left[ \mathbf{K}_v^{-1} \right]^* - \mathbf{I} \right] \mathbf{K}_v^* = \\ &= \mathbf{K}_v \left[ \mathbf{K}_v^{-1} \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{A}_2 \mathbf{K}_v \mathbf{K}_v^* \mathbf{A}_2^* \cdot \right. \\ &\cdot \left. \left[ \mathbf{A}_1^{-1} \right]^* \left[ \mathbf{K}_v^{-1} \right]^* - \mathbf{I} \right] \mathbf{K}_v^* \end{aligned} \quad (3.19)$$

Если принять во внимание, что с другой стороны в силу факторизации:

$$\mathbf{R}_v = \mathbf{R}_v^{1/2} \left[ \mathbf{R}_v^{1/2} \right]^* \quad (3.20)$$

то имеет место следующие равенства:

$$\mathbf{K}_v = \mathbf{R}_v^{1/2}, \mathbf{K}_v^* = [\mathbf{R}_v^{1/2}]^* \quad (3.21)$$

Поэтому, в силу (3.19) получим:

$$\mathbf{R}_u - \mathbf{R}_v = \mathbf{R}^{1/2} \left[ \mathbf{K}_v^{-1} \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{A}_2 \mathbf{R}_v \mathbf{A}_2^* \cdot \right. \\ \left. \cdot [\mathbf{A}_1^{-1}]^* [\mathbf{K}_v^{-1}]^* - \mathbf{I} \right] (\mathbf{R}_v^{1/2})^* \quad (3.22)$$

Обозначим, далее через  $\mathbf{C}_{u,v}$  оператор:

$$\mathbf{C}_{u,v} = \mathbf{K}_v^{-1} \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{A}_2 \mathbf{R}_v \mathbf{A}_2^* [\mathbf{A}_1^{-1}]^* [\mathbf{K}_v^{-1}]^* - \mathbf{I} \quad (3.23)$$

Учитывая, что оператор  $\mathbf{R}_v$  является симметричным и эрмитовым и  $\mathbf{R}_v = \mathbf{K}_v \cdot \mathbf{K}_v^*$  в (3.23) дальше получим:

$$\mathbf{C}_{u,v} = \mathbf{K}_v^{-1} \mathbf{A}_1 \mathbf{A}_2 \mathbf{K}_v \mathbf{K}_v^* \mathbf{A}_2^* [\mathbf{A}_1^{-1}]^* \cdot \\ \cdot [\mathbf{K}_v^{-1}]^* - \mathbf{I} = \mathbf{K}_v^{-1} \mathbf{K}_v \mathbf{A}_1 \mathbf{A}_2 \mathbf{A}_2^* [\mathbf{A}_1^{-1}]^* \cdot \\ \cdot \mathbf{K}_v^* [\mathbf{K}_v^{-1}]^* - \mathbf{I} = \mathbf{C}_1 - \mathbf{I} \quad (3.23^*)$$

где, учитывая еще и формулы (2.10) и (2.11),

$$\mathbf{C}_1 = \mathbf{K}_v^{-1} \mathbf{K}_v \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{A}_2 \mathbf{A}_2^* [\mathbf{A}_1^{-1}]^* \cdot \\ \cdot \mathbf{K}_v^* [\mathbf{K}_v^{-1}]^* = \mathbf{K}_v^{-1} \mathbf{K}_v \cdot \\ \cdot (\mathbf{I} + \mathbf{G}_0 \mathbf{D}_1 [\cdot])^{-1} (\mathbf{I} + \mathbf{G}_0 \mathbf{D}_2 [\cdot]) \cdot \\ \cdot (\mathbf{I} + \mathbf{G}_0 \mathbf{D}_2 [\cdot])^* \left[ (\mathbf{I} + \mathbf{G}_0 \mathbf{D}_1 [\cdot])^{-1} \right]^* \cdot \\ \cdot \mathbf{K}_v^* [\mathbf{K}_v^{-1}]^* \quad (3.24)$$

Тогда выражение (3.22) примет вид:

$$\mathbf{R}_u - \mathbf{R}_v = \mathbf{R}_v^{1/2} \mathbf{C}_{u,v} (\mathbf{R}_v^{1/2})^* \quad (3.25)$$

где операторы  $\mathbf{R}_u$  и  $\mathbf{R}_v$  как мы уже знаем ядерные, оператор  $\mathbf{C}_{u,v}$  определяется из формулы (3.23) и (3.23\*), а  $\mathbf{C}_1$  из (3.24).

Сравнивая формулу (3.25) с критерием Ю.Л. Далецкого, формулу (3.1), мы убеждаемся, что они совпадают, только нам остается определить условия, при выполнении которых оператор  $\mathbf{C}_{u,v}$  (3.23) будет оператором Гильберта-Шмидта. Тогда на основании Теоремы 1 цель наша будет достигнута, т.е. будет доказано, что гауссовские меры  $\mu_u$  и  $\mu_v$

эквиваленты ( $\mu_u \sim \mu_v$ ). Таким образом, для того, чтобы оператор  $\mathbf{C}_{u,v}$  был оператором Гильберта-Шмидта, надо чтобы оператор Грина  $\mathbf{G}_0$  и высшие порядки  $l_1$  и  $l_2$  дифференциальных операторов  $D_1[\cdot]$  и  $D_2[\cdot]$  были подобраны таким образом, чтобы их взаимодействие в (3.24) обеспечили гильбертово-шмидтовость оператору  $\mathbf{G}_{u,v}$ . Если это будет достигнуто, то тогда, пользуясь еще формулами (3.4) и (3.5) в явном виде будет вычислен оператор  $\mathbf{R}_u \mathbf{R}_v^{-1}$ , а с его помощью и явный вид плотности Радона-Никодима. т.е. в этом случае из формул (2.10) и (2.11) имеем:

$$\mathbf{B} = \mathbf{R}_u \mathbf{R}_v^{-1} = \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{G}_0 \mathbf{R}_\xi \mathbf{R}_0^* \cdot \\ \cdot [\mathbf{A}_1^{-1}]^* \mathbf{A}_2^* (\mathbf{G}_0^{-1}) \mathbf{R}_\xi \mathbf{G}_0^{-1} \mathbf{A}_2 = \\ = \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{W} [\mathbf{A}_1^{-1}]^* [\mathbf{W}^{-1}]^* \mathbf{A}_2 \quad (3.26)$$

где

$$\mathbf{W} = \mathbf{G}_0 \mathbf{R}_\xi \mathbf{G}_0^* \quad (3.27)$$

или окончательно, имеем:

$$\mathbf{B} = \mathbf{A}_1^{-1} \mathbf{W} [\mathbf{A}_1^{-1}]^* \mathbf{A}_2^* [\mathbf{W}^{-1}]^* \mathbf{A}_2 \quad (3.28)$$

Если обозначить через  $B(x, y)$  ядро интегрального оператора  $\mathbf{B}$ , то плотность Радона-Никодима  $\frac{d\mu_u}{d\mu_v}(x)$  можно записать в силу (3.2) в виде:

$$\frac{d\mu_u}{d\mu_v}(x) = \sqrt{\text{d\ddet} \mathbf{B}} \cdot \\ \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \langle (\mathbf{B} - \mathbf{I})x, x \rangle \right\} \quad (3.29)$$

или

$$\frac{d\mu_u}{d\mu_v}(x) = \sqrt{\text{d\ddet} \mathbf{B}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_Q < \right. \\ \left. [B(x, y) \cdot r(y)] - r(y) dr(y) > \right\} \quad (3.30)$$

где символ  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  обозначает расширенный стохастический интеграл в пространстве  $L_2(Q)$ .

Перейдем теперь к строгому математическому анализу выше полученных результатов с использованием известных фактов из классической математической теории. В пространстве  $L_2(Q)$  введем норму для интегрального оператора  $\mathbf{N}$  и обозначим ее меру  $|\mathbf{N}|$ . Если функция  $N(x, y)$ ,

определенная на множестве  $Q \times Q$ , порождает в  $L_2(Q)$  оператор  $N$  и удовлетворяет условию:

$$\iint_{Q \times Q} N^2(x, y) dx dy < \infty \quad (3.31)$$

то порожденный ею в  $L_2(Q)$  оператор  $N$  называется оператором Гильберта-Шмидта с нормой:

$$|N| = \sqrt{\iint_{Q \times Q} N^2(x, y) dx dy} \quad (3.32)$$

Рассмотрим теперь функцию Грина  $G_0(x, y)$   $x, y \in Q$ , построенную выше. Она, как известно в пространстве  $L_2(Q)$  порождает интегральный оператор  $G_0$ . Сама функция Грина в области  $Q$  имеет особенности (см. [3], свойства): в точке  $x = y$  порядка  $|x - y|^{-n+2k}$  при  $2k < n$ , вида  $\ln|x - y|$  при  $n = 2k$ , а при  $2k > n$  не имеет вообще особенностей. В первых двух случаях несобственный интеграл  $\iint_{Q \times Q} G_0^2(x, y) dx dy$  сходится, если  $k \geq \left\lceil \frac{n+1}{4} \right\rceil$  (здесь символ  $[a]$  означает целую часть числа  $a$ ), т.е.:

$$\iint_{Q \times Q} G_0^2(x, y) dx dy < \infty \quad (3.33)$$

а в последнем третьем случае, когда  $2k > n$  при  $k \geq \left\lceil \frac{n+1}{4} \right\rceil$  интеграл (3.33) всегда существует. Как выше мы утверждали, в этих случаях функция  $G_0(x, y)$  при условии (3.33) в пространстве  $L_2(Q)$  порождает оператор Гильберта-Шмидта  $G_0$ . Отсюда сразу следует, что операторы  $G_0 D_i[\cdot], i = 1, 2$ , всегда существуют и ограничены если их порядки  $l_i, i = 1, 2$  удовлетворяют соотношению  $2k > l_i \geq \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil, i = 1, 2$ . Далее в

$L_2(Q)$  рассмотрим операторы  $I + G_0 D_i[\cdot], i = 1, 2$ . Как известно (см., например, [3]) из функционального анализа, если число  $\lambda$  не принадлежит спектру операторов  $G_0 D_i[\cdot], i = 1, 2$ , т.е. оно является регулярным числом, то тогда существуют и ограничены операторы

$(G_0 D_i[\cdot] - \lambda I)^{-1}$ , как всякий оператор в конечномерном пространстве. В частности, из этого замечания следует, что если число  $-1$  является регулярным числом, то тогда операторы  $I + G_0 D_i, i = 1, 2$  имеют ограниченные обратные операторы  $(G_0 D_i[\cdot] + I)^{-1}$ . Обозначим через  $H_i$  операторы  $G_0 D_i[\cdot]$ .

$$H_i = G_0 D_i[\cdot], i = 1, 2 \quad (3.34)$$

Так как операторы  $G_0$  являются операторами Гильберта-Шмидта, то на основании того факта (см. [2]), что произведение оператора Гильберта-Шмидта на ограниченный оператор само является оператором Гильберта-Шмидта, то при  $l_i \geq \left\lceil \frac{n+1}{2} \right\rceil$ , операторы  $H_i$  и сопряженные к нему операторы  $H_i^*, i = 1, 2$ , являются операторами Гильберта-Шмидта. Кроме того, из того, что так как по предположению выше, число  $-1$  является регулярной точкой операторов  $G_0 D_i, i = 1, 2$ , то из существования ограниченных операторов  $(G_0 D_i[\cdot] + I)^{-1}$  следует также и существование и ограниченность сопряженных к ним операторов  $[(G_0 D_i[\cdot] + I)^{-1}]^*, i = 1, 2$ , (см. там же [2]).

Предположим теперь, что нормы операторов  $H_i, i = 1, 2$  удовлетворяют ещё следующим условиям:

$$|H_i| < 1 \text{ или что то же } \|G_0 D_i[\cdot]\| < 1, i = 1, 2 \quad (3.35)$$

Обратимся к одному утверждению из [2] и приведем её здесь в виде Леммы.

**Лемма1 [.]**

Если  $A$  – линейный ограниченный оператор в гильбертовом пространстве  $H$  и число  $\lambda$  такое, что  $|\lambda| > \|A\|$ , то тогда  $\lambda$  – регулярная точка и имеет место сходящееся разложение:

$$(A - \lambda I)^{-1} = -\frac{1}{\lambda} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{A^k}{\lambda^k} \quad (3.36)$$

В частности, когда в формуле (3.36)  $\lambda = -1$  имеем:

$$\begin{aligned} (A + I)^{-1} &= \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k A^k = \\ &= I - A + A^2 - A^3 + A^4 - \dots \end{aligned} \quad (3.37)$$

Кроме того, если норма оператора  $\mathbf{A}(H \rightarrow H)$  меньше 1, то тогда оператор  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$  существует, ограничен и представляется в виде сходящегося ряда:

$$(\mathbf{A} + \mathbf{I})^{-1} = \sum_{k=0}^{\infty} \mathbf{A}^k \quad (3.38)$$

Тогда, учитывая формулу (3.35) (откуда следует то, что и  $|\mathbf{H}_i^*| < 1, i=1,2$ ) на основании приведенной Леммы 1, мы можем операторы  $(\mathbf{I} + \mathbf{H}_i)^{-1}$  и  $[(\mathbf{I} + \mathbf{H}_i)^{-1}]^*$  применяя формулу (3.37) представить в виде следующих сходящихся разложений:

$$(\mathbf{I} + \mathbf{H}_i)^{-1} = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \mathbf{H}_i^k, i=1,2 \quad (3.39)$$

$$[(\mathbf{I} + \mathbf{H}_i)^{-1}]^* = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k (\mathbf{H}_i^*)^k, i=1,2 \quad (3.40)$$

Далее, введем следующие обозначения:

$$\mathbf{M}_i = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \mathbf{H}_i^k, i=1,2 \quad (3.41)$$

и

$$\mathbf{M}_i^* = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k (\mathbf{H}_i^*)^k, i=1,2 \quad (3.42)$$

Естественно, что ряды в правых частях (3.41) и (3.42) сходятся, т.к. они, учитывая (3.39) и (3.40) могут быть представлены в виде существующих ограниченных операторов, т.е. сравнивая формулы (3.35) и (3.40) с формулами (3.41) и (3.42), мы имеем:

$$(\mathbf{I} + \mathbf{H}_i)^{-1} = \mathbf{I} + \mathbf{M}_i, i=1,2 \quad (3.43)$$

$$[(\mathbf{I} + \mathbf{H}_i)^{-1}]^* = \mathbf{I} + \mathbf{M}_i^*, i=1,2 \quad (3.44)$$

В формулах (3.41) и (3.42) все слагаемые рядов являются операторами Гильберта-Шмидта, поэтому и их суммы  $\mathbf{M}_i$  и  $\mathbf{M}_i^*, i=1,2$  также являются операторами Гильберта-Шмидта. Легко видеть, что оператор  $\mathbf{C}_1$ , вычисленный по формуле (3.24), учитывая эти условия Леммы 1, новые обозначения и формулы (3.41), (3.42), (3.43) и (3.44), можно записать ещё в следующем виде:

$$\mathbf{C}_1 = \mathbf{K}_v^{-1} (\mathbf{I} + \mathbf{M}_1) (\mathbf{I} + \mathbf{H}_2) \cdot \mathbf{K}_v \mathbf{K}_v^* (\mathbf{I} + \mathbf{H}_2^*) (\mathbf{I} + \mathbf{M}_1^*) [\mathbf{K}_v^{-1}]^* \quad (3.45)$$

Из теории линейных операторов известно (см., например, [1]), что, если оператор  $\mathbf{A}$  является эрмитовым симметричным и ограниченным на всем гильбертовом пространстве  $H$ , то он также является замкнутым, а в этом случае он становится и самосопряженным оператором, т.е.  $\mathbf{A} = \mathbf{A}^*$ . Поэтому корреляционные операторы  $\mathbf{R}_\xi, \mathbf{R}_u, \mathbf{R}_v$ , очевидно, по построению и их определению, являются эрмитовыми, симметричными и самосопряженными операторами. Действительно, например, для случайного элемента  $\xi(\omega)$  с нулевым математическим ожиданием по определению корреляционного оператора имеем:

$$\begin{aligned} M(\xi(\omega), \alpha)(\xi(\omega), \beta) &= \\ &= (\mathbf{R}_\xi \alpha, \beta), \alpha, \beta \in H \end{aligned} \quad (3.46)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned} M(\xi(\omega), \beta)(\xi(\omega), \alpha) &= \\ &= (\mathbf{R}_\xi \beta, \alpha), \alpha, \beta \in H \end{aligned} \quad (3.47)$$

Отсюда следует, что:

$$(\mathbf{R}_\xi \alpha, \beta) = (\mathbf{R}_\xi \beta, \alpha), \alpha, \beta \in H \quad (3.48)$$

т.е. окончательно имеем:

$$(\mathbf{R}_\xi \alpha, \beta) = (\alpha, \mathbf{R}_\xi \beta) \quad (3.49)$$

Это означает, что оператор  $\mathbf{R}_\xi$  является эрмитовым и симметричным, ограниченным оператором на всем пространстве  $H$ , кроме того, он еще и замкнут и самосопряжен, т.е.:

$$\mathbf{R}_\xi = \mathbf{R}_\xi^* \quad (3.50)$$

При аналогичных рассуждениях можно утверждать, что оператор  $\mathbf{R}_\xi^{1/2}$  и операторы  $\mathbf{R}_u, \mathbf{R}_v, \mathbf{R}_u^{1/2}, \mathbf{R}_v^{1/2}$  также являются эрмитовыми, симметричными, ограниченными на всем  $H$ , замкнутыми и самосопряженными операторами. Кроме того, учитывая еще и формулы (3.6), (3.7) и (3.50), а также исходя из того же принципа, что и (3.50), т.е. формул:

$$\mathbf{R}_u^{1/2} = \mathbf{K}_u^{1/2} = [\mathbf{K}_u^{1/2}]^* = [\mathbf{R}_u^{1/2}]^* \quad (3.51)$$

и

$$\mathbf{R}_v^{1/2} = \mathbf{K}_v^{1/2} = [\mathbf{K}_v^{1/2}]^* = [\mathbf{R}_v^{1/2}]^* \quad (3.52)$$

Для операторов  $\mathbf{R}_u^{1/2}$  и  $\mathbf{R}_v^{1/2}$  мы подтверждаем правомочность вычисления операторов  $\mathbf{C}_1$  в формулах (3.23) и (23\*) и (3.24). Используя выше предложенные рассуждения и формулы (3.32), (3.39), (3.50), (3.51) и (3.52), оператор  $\mathbf{C}_1$  из формулы (3.24) можно представить еще и в следующем виде, учитывая (3.23\*):

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_1 &= \mathbf{K}_v^{-1} \mathbf{K}_v (\mathbf{I} + \mathbf{M}_1) (\mathbf{I} + \mathbf{H}_2) (\mathbf{I} + \mathbf{H}_2^*) \cdot \\ &\cdot (\mathbf{I} + \mathbf{M}_1^*) [\mathbf{K}_v^{-1}]^* [\mathbf{K}_v]^* = \\ &= (\mathbf{I} + \mathbf{M}_1) (\mathbf{I} + \mathbf{H}_2) (\mathbf{I} + \mathbf{H}_2^*) (\mathbf{I} + \mathbf{M}_1^*) \end{aligned} \quad (3.53)$$

так как

$$\mathbf{K}_v^{-1} \mathbf{K}_v = [\mathbf{K}_v^{-1}]^* \mathbf{K}_v^* = \mathbf{I} \quad (3.54)$$

Далее, проведя еще вычисления в (3.53), мы окончательно получим для оператора  $\mathbf{C}_1$  выражения:

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_1 &= \mathbf{I} + (\mathbf{M}_1 + \mathbf{H}_2 + \mathbf{M}_1 \mathbf{H}_2) + \\ &+ (\mathbf{H}_2^* + \mathbf{M}_1^* + \mathbf{H}_2^* \mathbf{M}_1^*) + \\ &+ (\mathbf{M}_1 + \mathbf{H}_2 + \mathbf{M}_1 \mathbf{H}_2) \cdot \\ &\cdot (\mathbf{H}_2^* + \mathbf{M}_1^* + \mathbf{H}_2^* \mathbf{M}_1^*) = \mathbf{I} + \mathbf{S} \end{aligned} \quad (3.55)$$

где через  $\mathbf{S}$  обозначим следующий оператор:

$$\begin{aligned} \mathbf{S} &= (\mathbf{H}_2 + \mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_1 \mathbf{H}_2) + \\ &+ (\mathbf{H}_2^* + \mathbf{M}_1^* + \mathbf{H}_2^* \mathbf{M}_1^*) + \\ &+ (\mathbf{M}_1 + \mathbf{H}_2 + \mathbf{M}_1 \mathbf{H}_2) \cdot \\ &\cdot (\mathbf{H}_2^* + \mathbf{M}_1^* + \mathbf{H}_2^* \mathbf{M}_1^*) \end{aligned} \quad (3.56)$$

Если теперь введем еще обозначения:

$$\mathbf{T} = \mathbf{M}_1 + \mathbf{H}_2 + \mathbf{M}_1 \mathbf{H}_2 \quad (3.57)$$

$$\mathbf{T}^* = \mathbf{H}_2^* + \mathbf{M}_1^* + \mathbf{H}_2^* \mathbf{M}_1^* \quad (3.58)$$

то формула (3.56) примет следующий вид:

$$\mathbf{S} = \mathbf{T} + \mathbf{T}^* + \mathbf{T} \cdot \mathbf{T}^* \quad (3.59)$$

Подставим теперь в формулу (3.23) или, что тоже в формулу (3.23\*) его значение оператора  $\mathbf{C}_1$  из формулы (3.43), или тоже, его значение из формулы (3.45), имеем:

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_{u,v} &= \mathbf{C}_1 - \mathbf{I} = \mathbf{I} + (\mathbf{M}_1 + \mathbf{H}_2 + \mathbf{M}_1 \mathbf{H}_2) + \\ &+ (\mathbf{H}_2^* + \mathbf{M}_1^* + \mathbf{H}_2^* \mathbf{M}_1^*) + \\ &+ (\mathbf{M}_1 + \mathbf{H}_2 + \mathbf{M}_1 \mathbf{H}_2) \cdot \\ &\cdot (\mathbf{H}_2^* + \mathbf{M}_1^* + \mathbf{H}_2^* \mathbf{M}_1^*) = \mathbf{I} + \mathbf{S} - \mathbf{I} = \mathbf{S} \end{aligned} \quad (3.60)$$

т.е., учитывая формулы (3.56) и (3.59) окончательно имеем:

$$\mathbf{C}_{u,v} = \mathbf{S} = \mathbf{T} + \mathbf{T}^* + \mathbf{T} \cdot \mathbf{T}^* \quad (3.61)$$

где операторы  $\mathbf{T}$  и  $\mathbf{T}^*$  вычисляются по формулам (3.57) и (3.58) соответственно, и являются при соблюдении определенных условий, перечисленных выше, операторами Гильберта-Шмидта. Действительно, при выполнении условий

$l_1 > \left[ \frac{n+1}{2} \right]$ , (3.34), (3.35) и условий Леммы из работы [2], а также, что число -1 является регулярным числом оператором

$\mathbf{A}_i = \mathbf{G}_0 D[\cdot] + \mathbf{I} = \mathbf{I} + \mathbf{H}_i$ ,  $i = 1, 2$  очевидно, что операторы  $\mathbf{H}_i$  и  $\mathbf{M}_i$ ,  $i = 1, 2$  с учетом формулы (3.33) являются операторами Гильберта-Шмидта, поэтому и операторы  $\mathbf{T}$  и  $\mathbf{T}^*$ , определенные по формулам (3.57) и (3.58) также являются операторами Гильберта-Шмидта по определению (см. [2]), а отсюда следует, что оператор  $\mathbf{C}_{u,v}$ , определенный по формуле (3.61) является оператором Гильберта-Шмидта, и далее, при соблюдении выше перечисленных условий, выполняются также и условие (1.\*) – (4.\*), а это утверждает, что корреляционные операторы случайных гауссовских полей  $u(\omega)$  и  $v(\omega)$ , соответственно  $\mathbf{R}_u$  и  $\mathbf{R}_v$ , являются ядерными операторами, как корреляционные операторы линейно преобразованного исходного гауссовского поля  $\xi(\omega)$  с  $\mathbf{R}_\xi$  ядерным корреляционным оператором.

Поэтому, возвращаясь к формулам (3.22), (3.23), (3.25) с учетом формул (3.5) и (3.61) имеем:

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_u - \mathbf{R}_v &= \mathbf{R}_v^{1/2} \mathbf{C}_{u,v} (\mathbf{R}_v^{1/2})^* = \\ &= \mathbf{R}_v^{1/2} \mathbf{S} (\mathbf{R}_v^{1/2})^* = \\ &= \mathbf{R}_v^{1/2} [(\mathbf{H}_2 + \mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_1 \mathbf{H}_2) + \\ &+ (\mathbf{H}_2^* + \mathbf{M}_1^* + \mathbf{H}_2^* \mathbf{M}_1^*) + \\ &+ (\mathbf{H}_2 + \mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_1 \mathbf{H}_2) \cdot \\ &\cdot (\mathbf{H}_2^* + \mathbf{M}_1^* + \mathbf{H}_2^* \mathbf{M}_1^*)] (\mathbf{R}_v^{1/2})^* = \\ &= \mathbf{R}_v^{1/2} [\mathbf{T} + \mathbf{T}^* + \mathbf{T} \cdot \mathbf{T}^*] (\mathbf{R}_v^{1/2})^* \end{aligned} \quad (3.62)$$

т.е., при соблюдении установленных условий, нам удалось в явном виде построить оператор Гильберта-Шмидта  $\mathbf{C}_{u,v}$  в виде формул (3.60) и (3.61), где операторы  $\mathbf{H}_i$  и  $\mathbf{M}_i$   $i=1,2$ , определяются из соотношений (3.34) и (3.41), а  $\mathbf{H}_i^*$  и  $\mathbf{M}_i^*$   $i=1,2$ , являются сопряженными операторами к ним. С другой стороны, так как оператор  $\mathbf{C}_{u,v}$  является оператором Гильберта-Шмидта, а операторы  $\mathbf{R}_u$  и  $\mathbf{R}_v$ , как выше мы установили, являются ядерными операторами, то он, оператор  $\mathbf{C}_{u,v}$ , как видно из формулы (3.62) удовлетворяет критерию Далецкого, приведенного в Теореме 1, (3.1), который является необходимым и достаточным условием для эквивалентности гауссовских мер  $\mu_u$  и  $\mu_v$ , порожденных решениями краевых задач Дирихле-Неймана I и II соответственно.

Таким образом, мы доказали теорему, которая может быть сформулирована в следующем виде:

**Теорема 2.** Пусть  $\{\Omega, \gamma, P\}$  – некоторое фиксированное вероятностное пространство и пусть  $R^n$  – обозначает  $n$ -мерное евклидово пространство. В пространстве  $R^n$  в открытой связной области  $Q \subset R^n$  с достаточно гладкой границей  $\partial Q, \partial Q \subset C^\infty(Q)$  рассмотрим две разные краевые задачи Дирихле-Неймана с одним и тем же источником гауссовского возмущения  $\xi(x, \omega), x \in Q, \omega \in \gamma$ , I и II для дифференциальных уравнений эллиптического типа порядка  $2k$  вида I) (2.1), (2.2) и II) (2.3), (2.4), где  $\xi(v, \omega) \in R^n$  – гауссовское случайное поле с  $\mathbf{M}\xi(x, \omega) = 0$  и корреляционной функцией  $R_\xi(x, y), x, y \in R^n$ , удовлетворяющей условию (2.0), а  $D[\cdot], i=1,2$  дифференциальные операторы порядка  $l_i, i=1,2, l_i < 2k$  и  $l_1 \neq l_2$ . Обозначим через  $L_2(Q)$  пространство функции со значениями в  $R^n$  и интегрирующими со своими квадратами на мере Лебега как по формуле (2.7\*). Как известно, такие функции типа рассматриваются как ядро в пространстве  $R^n$ , порождающие интегральный оператор в пространстве  $L_2(Q)$   $\mathbf{B}$  по принципу (2.7), и если для него выполняется условие (2.7\*), то оператор  $\mathbf{B}$  называется оператором Гильберта-Шмидта, действующим в области  $Q$ .

В области  $Q$  рассматривается еще одна краевая задача III для дифференциального уравнения (2.5) вида III (2.6), (2.9) и для его решения в явном виде выписывается функция Грина

$\mathbf{G}_0(x, y)$  которая, как ядро, в  $L_2(Q)$  порождает оператор Грина  $\mathbf{G}_0$ . Кроме того, пусть далее выполняются условия:

(У.1). Между числами  $k, l_1, l_2$  и  $n$  размерности  $R^n$  выполняется строго такое соотношение:

$$2k > l_i \geq \left[ \frac{n+1}{2} \right], i=1,2 \quad (3.63)$$

где символ  $[a]$  обозначает целую часть  $a_i$ ;

(У.2). Число -1 является регулярным числом для оператора  $\mathbf{H}_i = \mathbf{G}_0 D_i[\cdot], i=1,2$  в  $L_2(Q)$  определенного по формуле (3.34),

(У.3). Норма операторов  $\mathbf{H}_i = \mathbf{G}_0 D_i[\cdot], i=1,2$  в  $L_2(Q)$ , определённых по формуле (3.34), удовлетворяют условию:

$$|\mathbf{H}_i|_{L_2(Q)} < 1, i=1,2 \quad (3.64)$$

Тогда имеют место следующие утверждения:

1. Условие (У.1) обеспечивает существование и ограниченность функции Грина  $\mathbf{G}_0(x, y)$ ,  $x, y \in Q \subset R^n$  в виде формулы (3.31), и в связи с этой формулой функция  $\mathbf{G}_0(x, y)$ , как ядро в  $R^n$ , порождает оператор Гильберта-Шмидта, как оператор  $\mathbf{G}_0$  Грина в пространстве  $L_2(Q)$  в явном виде.

2. Условие (У.2) обеспечивает с учетом Леммы 1:

2а). Обратимость и ограниченность операторов  $\mathbf{A}_1$  и  $\mathbf{A}_2$ , определенных по формулам (2.20) и (2.21), т.е. существование и ограниченность операторов  $\mathbf{A}_1^{-1}$  и  $\mathbf{A}_2^{-1}$  в  $L_2(Q)$ .

2б). Существование линейных взаимно-однозначных преобразований  $\mathcal{L}[u]$  и  $\mathcal{L}[v]$ , определенных по формулам (2.22) и (2.23), где преобразованные случайные гауссовские поля  $u(\omega)$  и  $v(\omega)$  являются единственно возможными решениями краевых задач Дирихле-Неймана I и II соответственно и обладают ядерными корреляционными операторами  $\mathbf{R}_u$  и  $\mathbf{R}_v$  соответственно, так как исходное гауссовское поле  $\xi(\omega)$  имеет ядерный корреляционный оператор  $\mathbf{R}_\xi$ , а преобразования  $\mathcal{L}[\cdot]$  и  $\mathcal{L}[\cdot]$  – линейные и учитывая оценки (1.\*)- (4.\*).

3а). На основании (У.3) Леммы 1 и что оператор  $\mathbf{G}_0$  является оператором Гильберта-Шмидта, можно утверждать, как выше было

доказано, что операторы  $\mathbf{H}_i$ ,  $\mathbf{M}_i$ ,  $\mathbf{H}_i^*$ ,  $\mathbf{M}_i^*$ ,  $\mathbf{T}$ ,  $\mathbf{T}^*$ ,  $i=1,2$  и  $\mathbf{C}_{u,v}$  определенные соответственно по формулам (3.34), (3.41), (3.42), (3.56), (3.57), (3.58), (3.59) и (3.61) являются также операторами Гильберта-Шмидта.

36). Оператор  $\mathbf{C}_{u,v}$  вычисляется в явном виде в виде известных величин – операторов, построенных коэффициентами заданных дифференциальных уравнений (2.1) и (2.3) и функции Грина  $\mathbf{G}_0(x,y)$  по формуле (3.56) и (3.61) и удовлетворяет на основании формулы (3.25) и (3.62) соотношению:

$$\mathbf{R}_u - \mathbf{R}_v = \mathbf{R}_v^{1/2} \mathbf{C}_{u,v} (\mathbf{R}_v^{1/2})^* \quad (3.65)$$

где  $\mathbf{R}_u$  и  $\mathbf{R}_v$  являются ядерными операторами гауссовских случайных полей  $u(\omega)$  и  $v(\omega)$  соответственно с  $\mathbf{M}u(\omega) = \mathbf{M}v(\omega) = 0$

4. Из теории случайных процессов и полей известно, что:

4а). как случайные гауссовские поля  $u(\omega)$  и  $v(\omega)$  на  $\sigma$ -алгебре  $\gamma$  порождают гауссовские меры  $\mu_u$  и  $\mu_v$  соответственно.

4б). На основании утверждения 3а) и 3б) нами построен в явном виде оператор Гильберта-Шмидта  $\mathbf{C}_{u,v}$ , который удовлетворяет формулам (3.25) и (3.62), или (3.65), так как корреляционные операторы  $\mathbf{R}_u$  и  $\mathbf{R}_v$  являются ядерными операторами, то формула (3.25), или в нашем случае (3.62), совпадает с критерием Далецкого с формулой (3.1) из Теоремы 1.

5. Оператор  $\mathbf{C}_{u,v}$ , построенный в явном виде в виде формул (3.56), (3.57) и (3.61) является оператором Гильберта-Шмидта и удовлетворяет соотношению (3.25) или, что тоже самое (3.65), поэтому на основании Теоремы 1 (Далецкого) мы можем утверждать, что условие (3.25) или, что тоже самое, (3.62), или (3.65), является необходимым и достаточным для эквивалентности  $(\mu_u \sim \mu_v)$  гауссовских мер  $\mu_u$  и  $\mu_v$ .

6. На основании Теоремы 1 (Далецкого) гауссовские меры  $\mu_u$  и  $\mu_v$  удовлетворяющие условиям (3.25) или (3.62), эквиваленты  $(\mu_u \sim \mu_v)$  и на том же основании Теоремы 1, плотность Радона-Никодима  $\frac{d\mu_u}{d\mu_v}(z)$  имеет следующий вид:

$$\frac{d\mu_u}{d\mu_v}(z) = \sqrt{\det \mathbf{B}} \exp \left\{ \frac{1}{2} \langle (\mathbf{B} - \mathbf{I})z, z \rangle \right\} \quad (3.66)$$

или, в пространстве  $R^n$ ,

$$\frac{d\mu_u}{d\mu_v}(z) = \sqrt{\det \mathbf{B}} \int_Q \exp \left\{ -\frac{1}{2} \langle \mathbf{B}(x,y) \rangle \cdot \right. \\ \left. \cdot z(y) - z(y) \right\rangle, z(y) \rangle dz(y) \quad (3.67)$$

где оператор  $\mathbf{B}$  определяется как  $\mathbf{B} = \mathbf{R}_u \mathbf{R}_v^{-1}$  по известным величинам по формуле (3.28), оператор  $\mathbf{W}$  определяется из (3.27), символы  $\det$  и  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  определяют регуляризованный детерминант и расширенный стохастический интеграл соответственно, а  $\mathbf{B}(x,y)$  – ядро в пространстве  $R^n$ , порождающее соответственно интегральный оператор  $\mathbf{B}$  в пространстве  $L_2(Q)$ .

### Л и т е р а т у р а

1. Наймарк М.А. Линейные дифференциальные операторы. Москва, Наука, Физматгиз, 1969г.
2. Колмогоров А.Н., Фомин С.В., Элементы теории функции и функционального анализа, Москва, Наука, Физматгиз, 1968.
3. Березанский Ю.М., Разложение по собственным функциям самосопряженных операторов, Киев, Наукова думка, 1965г.
4. Далецкий Ю.Л., Фимн С.В., Меры и дифференциальные уравнения в бесконечномерных пространствах, Иосква, Наука, Физматгиз, 1983 г. – С. 384.
5. Шаташвили А.Д., Папазова Е.Н., Фомина-Шаташвили Т.А., Ивахненко Н.Н. Некоторые линейные эквивалентные преобразования гауссовских случайных полей в  $n$ -мерном евклидовом пространстве  $R^n$ , часть I: Построение взаимнооднозначных линейных преобразований для решения краевых задач Дирихле-Неймана, возбужденных в евклидовом пространстве  $R^n$ , Вестник Луганского государственного университета им. В. Даля, № 11, (53), 2021 г., стр 174.

**Shatashvili A.D., Papazova E.N.,**

**Fomina-Shatashvili T.A., Ivakhnenko N.N.**

**SOME LINEAR EQUIVALENT TRANSFORMATIONS OF GAUSSIAN RANDOM FIELDS IN  $n$ -DIMENSIONAL EUCLIDEAN SPACE PART II: ON THE EQUIVALENCE OF TWO GAUSSIAN MEASURES GENERATED BY SOLUTIONS TO TWO DIFFERENT DIRICHLE-NEYMANN BOUNDARY PROBLEM IN EUCLIDE SPACE  $R^n$**

*In this paper, we continue the research begun in our paper [5], where in the  $n$ -dimensional Euclidean space  $R^n$  we considered two Dirichlet-Neumann boundary value problems in some open connected domain  $Q \subset R^n$  with a sufficiently smooth boundary  $\partial Q \subset C^\infty(Q)$  for partial differential equations of elliptic type of the same order  $2k$  and perturbed by the same random Gaussian field  $\xi(x, \omega)$ ,  $x \in R^n$  by the correlation operator generated by*

the correlation function  $R_\xi(x, y)$ ,  $x, y \in R$ . In space  $R^n$ , the third Dirichlet-Neumann boundary value problem is also considered, for which the Green's function  $G_0(x, y)$  is constructed explicitly, while formally, which in turn, as a kernel, generates the Green's integral operator  $\mathbf{G}_0$  in the space of functions  $L_2(Q)$  integrable with their square in the region  $Q$  in measure Lebesgue, i.e. in this case, by definition, the operator  $\mathbf{G}_0$  is a Hilbert-Schmidt operator. Also in [5], the boundary value problems under study are reduced to two linear one-to-one transformations in the space  $R^n$  of a random Gaussian field  $\xi(x, \omega)$  using the Green's function (or, which is also the Green's operator) to random Gaussian fields  $u(x, \omega)$  and  $v(x, \omega)$ , since these transformations are linear so far, which is formally, and when establishing the conditions under which this fact takes place, we will prove by the construction itself the existence and uniqueness of the solution of boundary value problems  $u(x, \omega)$  and  $v(x, \omega)$ , respectively, since these solutions coincide with the transformed quantities under linear transformations of the original Gaussian random field  $\xi(x, \omega)$ . Further, given that these solutions are random fields, they generate measures on the  $\sigma$ -algebra  $\gamma_{L_2(Q)}$ . Further, in this work, conditions are established under which the measures  $\mu_u$  and  $\mu_v$  equivalents ( $\mu_u \ll \mu_v$ ).

For this, one general theorem of Yu.L. Daletsky from [4], for which in our case, using the given coefficients of differential equations and the Green function, the Daletsky criterion is constructed from the indicated theorem, which provides necessary and sufficient conditions for the equivalence of measures  $\mu_u$  and  $\mu_v$  ( $\mu_u \ll \mu_v$ ), in explicit form in terms of the coefficients of differential equations, the Radon density is calculated Nicodemus. In addition, in the proposed work, all the facts that were formally presented in [5] are proved in strict mathematical logic under certain specific conditions.

**Keywords.** Green's function, Green's operator, Hilbert-Schmidt operator, Radon-Nikodym density, equivalence of measures, Daletsky criterion, Dirichlet-Neumann boundary value problems.

**Шаташвили Альберт Даниелович**, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры высшей математики ГОУ ВПО «Донецкая академия управления и государственной службы при Главе Донецкой Народной Республики», ДНР.

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

**Shatashvili Albert Danielovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Higher Mathematics, SEI HPE "Donetsk Academy of Management and Public Administration under the Head of the Donetsk People's Republic", DPR.

**Папазова Елена Николаевна**, к.э.н., доцент, зав. кафедрой высшей математики ГОУ ВПО «Донецкая академия управления и государственной службы при Главе Донецкой народной республики».

**E-mail:** k\_matem@dsum.org

**Papazova Elena Nikolaevna**, Associate Professor, Ph.D., Head. Department of Higher Mathematics SEI HPE "Donetsk Academy of Management and Public Administration under the Head of the Donetsk People's Republic".

**Фомина-Шаташвили Тамара Александровна**, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры высшей и прикладной математики ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского».

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

**Fomina-Shatashvili Tamara Alexandrovna**, Associate Professor, Ph.D., Associate Professor, Department of Higher and Applied Mathematics SO HPE "Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky".

**Ивахненко Наталья Николаевна**, к.ф.-м.н., доцент, старший научный сотрудник ГУ «Донецкий физико-технический институт имени А.А. Галкина», ДНР.

**E-mail:** yulduz19.77@mail.ru

**Ivakhnenko Natalia Nikolaevna**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, State Institution "Donetsk Physical-Technical Institute named after A.A. Galkina, DPR.

**Рецензент: Горп Геннадий Викторович**, д.ф.-м.н., профессор, гл. научный сотрудник ГУ «Института прикладной математики и механики», ДНР.

Статья подана 15.05.2022

УДК 621.168

## ДИАГНОСТИКА КРУПНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Шатова Н.А., Мирошниченко О.Н., Безкоровайный В.С.

## THE DIAGNOSTICS OF LARGE ELECTRIC MACHINES

Shatova N.A., Miroshnichenko O.N., Bezkorovaynyi V.S.

В статье сформулированы основные задачи диагностирования крупных электрических машин, рассмотрены основные виды дефектов с признаками, по которым их можно диагностировать. Показаны конструктивные особенности изоляции современных высоковольтных электрических машин с диагностируемыми параметрами. Разработана методика выявления дефектов с четкой характеристикой диагностических признаков и указанием методов неразрушающего контроля, которые позволяют эти дефекты выявить и проанализировать. Реализация предложенных принципов при ремонте крупных электрических машин позволяет обеспечить высокий срок службы этих машин.

**Ключевые слова:** корпусная изоляция, крупные электрические машины (КЭМ), диагностические параметры, слюдинит, статор, ротор, дефекты, механические повреждения.

**Введение.** Основная задача диагностирования – предупреждение отказов и повышение надежности крупных электрических машин (КЭМ). Исследования отказов КЭМ [1, 2], показывают, что аварийное состояние машин возникает не мгновенно, а имеет достаточно длинную историю развития, поэтому при непрерывном или периодическом наблюдении за характером изменений технологических параметров, имеется возможность предотвратить аварийные остановки или поломки. Для выявления оценки динамики изменения диагностических признаков можно

использовать осмотры и контрольные поверки при планово-предупредительных работах.

Диагностические признаки в большинстве своем не имеют четкой, однозначной привязки к каким-либо определенным дефектам, что затрудняет их идентификацию. Достоверность диагноза и идентификации дефектов повышается с увеличением числа контролируемых признаков, особенно если учитывать возможность ложной работы аппаратуры контроля.

**Целью настоящей работы** является разработка методики выявления дефектов с четкой характеристикой диагностических признаков и указанием методов неразрушающего контроля, которые позволяют эти дефекты выявить и проанализировать.

**Основная часть.** Дефекты в КЭМ, связанные с ними диагностические признаки, методы и параметры, позволяющие своевременно выявить дефекты, приведены в табл. 1.

Для правильной идентификации дефектов необходимо правильно учитывать режимно-нагрузочные условия работы машины, накапливать и анализировать большой объем диагностической информации и осуществлять текущий контроль. Это может быть выполнено при использовании современной вычислительной техники.

Таблица 1

Дефекты КЭМ и методы их контроля

| Дефекты                                                                                                       | Диагностические признаки                                      | Параметры или методы контроля                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1                                                                                                             | 2                                                             | 3                                               |
| Ослабление креплений элементов статора (обмотка, сердечник, распушение крайних пакетов, ослабление прессовки) | изменение амплитуды и фаз вибрации элементов статора          | вибрация подшипников, вибрация вала             |
|                                                                                                               | изменение уровня и спектра шума                               | виброакустические параметры                     |
|                                                                                                               | появление пыли от истирания и износа на поверхности элементов | внешний осмотр, хромотографический анализ       |
| Дефекты системы охлаждения                                                                                    | изменение нагрева в отдельных ветвях обмотки                  | температура обмотки                             |
|                                                                                                               | местные перегревы изоляции обмоток                            | температура изоляции, хромотографический анализ |
|                                                                                                               | снижение сопротивления изоляции (увлажнение)                  | сопротивление изоляции                          |

Продолжение табл. 1

| 1                                                                                        | 2                                                               | 3                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Местные перегревы сердечника и обмотки статора                                           | появление продуктов пиролиза в воздухе и масле                  | температура элементов, продукты пиролиза в охлаждающем газе, хроматографический анализ             |
|                                                                                          | изменение вибрации из-за монолитности стержней                  | вибрация элементов статора, интенсивность электромагнитных излучений на высоких частотах           |
|                                                                                          | изменение локальных температур, инфракрасного излучения         | температура элементов узла, интенсивность инфракрасного излучения, внешний осмотр                  |
| Нарушение изоляции обмотки статора (износ, старение, увлажнение, позиционное разрушение) | снижение сопротивления изоляции                                 | влажность изоляции, сопротивление изоляции                                                         |
|                                                                                          | повышение уровня электромагнитных излучений на высоких частотах | интенсивность электромагнитных излучений на высоких частотах                                       |
|                                                                                          | повышение нагрева                                               | температура элементов, продукты пиролиза в охлаждающем воздухе, хроматографический анализ          |
| Трещины в спайках и токоведущих частях статора и ротора                                  | местные перегревы                                               | продукты пиролиза в охлаждающем воздухе, хроматографический контроль, ультразвуковой контроль      |
|                                                                                          | изменение местных инфракрасных излучений                        | интенсивность инфракрасного излучения                                                              |
|                                                                                          | повышение уровня электромагнитных помех на высоких частотах     | интенсивность электромагнитных излучений на высоких частотах                                       |
|                                                                                          | изменение уровня, фаз и частотного состава вибрации вала и опор | вибрация подшипников, вибрация вала, ультразвуковой контроль                                       |
| Искрение щеточно-контактного аппарата, нарушение изоляции контактных колец               | повышение уровня электромагнитных излучений на высоких частотах | интенсивность электромагнитных излучений на высоких частотах                                       |
|                                                                                          | снижение сопротивления изоляции                                 | сопротивление изоляции                                                                             |
|                                                                                          | повышение температуры контактных колец                          | интенсивность инфракрасного излучения на высоких частотах                                          |
| Коррозионное растрескивание бандажных колец                                              | появление трещин                                                | ультразвуковой контроль, внешний осмотр                                                            |
| Трещины вала, витковые замыкания в обмотке ротора                                        | изменение уровня, фаз и частотного состава вибрации вала и опор | вибрации вала и опор, виброакустические параметры, ультразвуковой контроль                         |
|                                                                                          | изменение сопротивления обмотки статора и нагрев                | температура элементов узла, интенсивность инфракрасного излучения, использование волоконной оптики |
| Дефекты масляных уплотнений                                                              | изменение расхода масла                                         | температура узлов, контроль расхода и давления масла                                               |

Основные технологические параметры КЭМ контролируются соответствующими датчиками и измерительными преобразователями. Контроль этих параметров в пределах предупредительных и аварийных остановок является основным принципом предотвращения аварийных ситуаций.

Основные контрольно-диагностические функции состоят в автоматическом выявлении аномальных значений контролируемых и расчетных переменных и выдачи предупреждений, в определении тенденции и накоплении данных.

Рассмотрим конструкцию изоляции современных высоковольтных КЭМ.

На смену микалентной изоляции с битумным связующим пришла слюдосодержащая изоляция, в которую в качестве связующего компонента входят синтетические смолы. Так как наиболее повреждаемой является изоляция статорных обмоток и, в частности,

корпусная изоляция катушек и стержней, кратко рассмотрим ее конструкцию и технологию.

При изготовлении КЭМ применяется только термореактивная изоляция, имеющая высокую механическую прочность и не размягчающаяся при повышении температуры. Допустимая рабочая температура изоляции составляет 120°C. В качестве связующих при этом используются материалы на основе, главным образом, эпоксидных, полиэфирных и кремнийорганических смол или их композиций. После полимеризации в процессе обработки они становятся твердыми, прочными, практически нерастворимыми и не подверженными размягчению [3].

Высокая механическая прочность связующего при рабочей температуре КЭМ и особенности производства современной изоляции, уменьшающие вероятность ее механического повреждения, в процессе производства дают возможность применять в ней взамен слюды более дешевые, но механически

менее прочные материалы типа слюдинита. Эти материалы вырабатываются из отходов слюды путем ее измельчения и последующего изготовления из полученной слюдяной массы листов и лент.

Слюдинит состоит из множества мелких чешуек слюды, расположенных по толщине в несколько слоев. Благодаря этому слюдинит более однороден, чем микалента и микафолий, где число слоев слюды может колебаться от одного до четырех. Слюдинитовые ленты применяются обычно с подложками из стекловолоконных материалов – стеклослюдинитовые ленты. При наложении изоляции

на катушки или стержни такая подложка мало растягивается, предотвращая разрыв наклеенного на нее слюдинита.

Слюдинитовые ленты выпускаются, как правило, в виде роликов диаметром 100 мм и шириной 15-20-25 мм с толщиной лент от 0,08 до 0,2 мм. Основные типы лент и их краткая характеристика приведены в табл.2.

Большинство лент имеют в составе в массовых долях: слюду 20-33 %, связующих 30%, летучих веществ 1,3-1,4%. Удельная разрушающая нагрузка лент находится в пределах 60-100 Н/см.

Таблица 2

Стеклослюдинитовые ленты

| Тип      | Состав                                                                                                 | Пробивное напряжение, кВ/мм | Нагревостойкость, °С |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| ЛСЭП-934 | Слюдинитовая бумага, стеклолента, пленка ПЭТФ (полиэтилен-терефталат), эпоксидно-полиэфирные связующие | 45                          | 155                  |
| ЛСКО-ПМ  | Слюдинитовая бумага, полиимидная пленка (ПМ), кремнийорганические связующие                            | 45                          | 180                  |
| ЛСУ      | Слюдинитовая бумага, стеклоткань, эпоксидно-полиэфирные связующие                                      | 45                          | 155                  |
| ЛСК-СС   | Слюдинитовая бумага, стеклоткань, кремнийорганические связующие                                        | 12                          | 180                  |
| ЛСК-Т    | Слюдинитовая бумага, стеклоткань, кремний-органические связующие                                       | 30                          | 155                  |

Связующее вводится в изоляцию КЭМ либо перед ее термообработкой, в этом случае это – жидкость, хорошо пропитывающая изоляцию, либо наносится на ленты заранее, до их намотки, и высушивается, а размягчение и склеивание лент происходит при их нагревании. Изоляция, изготовленная по первому способу, называется «Монолит», по второму – «Слюдотерм». При изготовлении изоляции «Монолит» сухие, пористые стеклослюдинитовые ленты наносятся в несколько слоев на стержни или катушки КЭМ и в автоклавах подвергаются вакуумной сушке, пропитке эпоксидным компаундом в вакууме или под давлением и последующей запечке при повышенной температуре в печах. Стержни или катушки перед компаундированием помещают в пресс-формы. Для относительно небольших по размерам машин применяется компаундирование обмотки, уложенной в пазы вместе с магнитной системой – пакетом статора.

Изготовление изоляции «Слюдотерм» из пропитанных стеклослюдинитовых лент начинается аналогично, с намотки лент на катушки или стержни, после чего они укладываются в пресс-формы, где опрессовываются со всех сторон в пазовых и лобовых частях и запекаются без выемки из пресс-формы. Наиболее качественную изоляцию «Слюдотерм» получают методом гидравлической опрессовки в автоклаве, где вместо механического сжатия происходит давление жидкости, с предварительным вакуумированием для устранения воздушных включений.

При любом способе изготовления изоляции на стержнях высоковольтных генераторов дополнительно наносится противокоронная защита в виде полупроводящих покрытий.

Лобовые части высоковольтных обмоток во время работы КЭМ подвергаются значительным механическим воздействиям от электродинамических усилий во время пусков и коротких замыканий в сети. Для защиты изоляции лобовых частей предусматривается крепление их с помощью изолированных деталей к жесткозакрепленным металлическим частям.

Во время эксплуатации изоляция электрооборудования, в том числе и КЭМ, подвергается различным воздействиям, вызывающим ее старение – необратимое ухудшение ее свойств. Для изоляции КЭМ при этом характерно образование местных дефектов – ухудшение электрических свойств на отдельных небольших участках. При нагревах всей обмотки или ее увлажнении возникают распределенные дефекты, охватывающие значительную площадь. При проектировании, изготовлении и эксплуатации электрооборудования в соответствии с ГОСТ ИЕС 60034-18-22-2014 [4] должны учитываться тепловые, электрические, механические воздействия на изоляцию, а также воздействия окружающей среды. В процессе эксплуатации изоляция испытывает эти воздействия одновременно, что вызывает ее ускоренное старение по сравнению с тем, если бы указанные воздействия прилагались поочередно.

Важным этапом разработки средств технического диагностирования является определение диагностических параметров. Такими параметрами для КЭМ являются следующие:

– электрические – отклонение токов и напряжений от номинальных значений, появление искажений и потерь;

– тепловые – сопровождающие электрические, что вызывает старение изоляции;

– химические – возникающие в средах охлаждения;

– вибрационные – вызывающие разрушения, как изоляции, так и элементов конструкции.

Для сформулированных диагностических параметров КЭМ применимы следующие виды диагностирования (табл. 3).

Таблица 3

Методы диагностирования КЭМ

| № | Метод                                              | Выявляемые дефекты                                         |
|---|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1 | Измерения сопротивления изоляции                   | Увлажнение и загрязнение изоляции                          |
| 2 | Измерение диэлектрических потерь ( $\tan \delta$ ) | Увлажнение и разрушение изоляции                           |
| 3 | Измерение абсорбционных характеристик              | Увлажнение                                                 |
| 4 | Определение характеристик трансформаторного масла  | Увлажнение масла, разрушение масла и элементов конструкции |
| 5 | Измерение частотных разрядов                       | Местные дефекты и разрушения                               |

**Выводы.** В статье показаны основные виды дефектов КЭМ, их диагностические признаки и предложены основные методы контроля перечисленных дефектов.

Рассмотрены основные диагностические параметры, по которым определяется состояние КЭМ и предложены методики их измерения и контроля.

Внедрение предложенной методики на электроремонтных предприятиях позволит существенно увеличить срок службы КЭМ после ремонта, особенно если при этом будет обеспечена модернизация изоляционных конструкций, как в части технологии, так и в части изоляционных материалов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин / О.Д. Гольдберг. М.: Высшая школа, 2000. 256 с.

2. Изоляция электрических машин / ред. Ю.В. Багаляй. М.: ВНИИЭМ, 2012. 143с.

3. Пак В.М. Новые материалы и системы изоляции высоковольтных электрических машин / В.М. Пак, С.Г. Трубаев. М.: Энергоатомиздат, 2007. 416 с.

4. ГОСТ ИЕС 60034-18-22-2014 Машины электрические вращающиеся. Часть 18-22. Оценка функциональных показателей систем изоляции. Методики испытаний обмоток из обмоточного изолированного провода. Классификация изменений при замене компонентов изоляции.

Shatova N.A., Miroshnichenko O.N.,

Bezkorovaynyi V.S.

#### THE DIAGNOSTICS OF LARGE ELECTRIC MACHINES

*The authors of the article formulated the main tasks of diagnosing large electrical machines, examined the basic types of defects with signs by which it can be diagnosed. The design features of the insulation of modern high-voltage large electrical machines were shown with its diagnosed parameters. The authors developed a defect detection technique with a clear description of diagnostic features and an indication of non-destructive testing methods that allow these defects to be identified and analyzed. The implementation of the proposed principles in the repair of large electrical machines allows to ensure the high service life of these machines.*

**Key words:** case insulation, large electrical machines (LEM), diagnostic parameters, mica, stator, rotor, defects, mechanical damage.

**Шатова Наталья Александровна**, к.т.н., доцент кафедры «Электромеханика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

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

**Shatova Nataliya Alexandrovna**, PhD (Engineering), docent, associate professor of the department of Electromechanics, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Мирошниченко Ольга Николаевна**, к.т.н., доцент кафедры «Электромеханика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**E-mail:** abc1922@mail.ru

**Miroshnichenko Olga Nikolaevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electromechanics of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Безкоровайный Владимир Сергеевич**, к.т.н., доцент кафедры «Электромеханика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**E-mail:** volk\_7@ukr.net

**Bezkorovaynyy Vladimir Sergeevich**, PhD (Engineering), docent, associate professor of the department of Electromechanics, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Яковенко Валерий Владимирович**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Электромеханика» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 04.04.2022

УДК 681.515

## АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОМ ТАНГАЖА КВАДРОКОПТЕРА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО ПИД-РЕГУЛЯТОРА

Шульгин С.К., Синепольский Д.О., Ганнота Г.В.

## ANALYSIS OF THE FUZZY PID CONTROLLER BASED QUADROCOPTER PITCH ANGLE CONTROL SYSTEM

Shul'gin S.K., Sinepol'skij D.O., Gannota G.V.

*В работе рассматриваются вопросы построения нечеткой подсистемы управления выбранным параметром квадрокоптера на основе его линеаризованной математической модели и исследование влияния выбранного алгоритма управления на время переходного процесса и перерегулирование переходной характеристики в сравнении с результатами классической теории управления.*

**Ключевые слова:** квадрокоптер, математическая модель, ПИД-регулятор, декомпозиция, нечеткая логика, нечеткий вывод, двигатель постоянного тока.

**Введение.** Квадрокоптеры, являясь новым видом беспилотной воздушной робототехники, обладают рядом преимуществ, по сравнению с самолетами и вертолетами. При этом в силу специфических отличий квадрокоптеры как объекты управления требуют разработки новых алгоритмов и систем управления. Этим обусловлено большое количество современных научных публикаций по вопросам математического моделирования квадрокоптеров [1-4], построения систем управления квадрокоптерами на основе достижений классической теории управления [5-7] и поиска оптимальных регуляторов [8]. При этом, как показано, в частности [7], применение ПИД и ПД законов управления демонстрируя возможность получить устойчивую систему, в то же время не позволяет достичь приемлемых значений показателей качества управления. В связи с этим актуальной является задача синтеза системы управления квадрокоптером на основе нелинейных алгоритмов.

**Целью работы** является анализ подсистемы управления углом тангажа квадрокоптера, построенной на основе нечеткого ПИД-регулятора.

Достижение поставленной цели требует решения ряда **основных задач**:

1. Проанализировать систему управления квадрокоптером, построенную для его линеаризованной модели, с целью перехода к применению нелинейных алгоритмов управления.

2. Провести декомпозицию ПИД-регулятора в подсистеме управления углом тангажа квадрокоптера и построить нечеткие SISO системы

вывода значений коэффициентов усиления регулятора.

3. Исследовать поведение полученной системы, проанализировать влияние выбранного алгоритма управления на показатели качества управления углом тангажа квадрокоптера.

Линеаризованная с использованием приближения малого угла математическая модель квадрокоптера может быть представлена системой уравнений вида [7]:

$$\ddot{z} = g - \frac{U_1}{m}, \quad (1)$$

$$\ddot{\phi} = \frac{U_2}{I_{xx}}, \quad (2)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{U_3}{I_{yy}}, \quad (3)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{U_4}{I_{zz}}. \quad (4)$$

Система управления квадрокоптером [7] представляет собой трехуровневую систему, обеспечивающую поддержание заданного значения высоты  $z$ , угла рыскания  $\psi$ , тангажа  $\theta$  и крена  $\phi$ , а также значений координат положения  $x$  и  $y$ .

На первом уровне решается задача обеспечения поддержания заданной высоты квадрокоптера путем формирования требуемого значения общей тяги  $U_1 = f_1 + f_2 + f_3 + f_4$ , в зависимости от рассогласования заданного  $Z_d$  и фактического  $Z$  значений высоты.

Второй уровень системы управления обеспечивает поддержание заданного угла рыскания  $\psi_d$ , при этом требуемое значение крутящего момента рыскания  $U_4 = f_1 + f_3 - f_2 - f_4$  обеспечивается путем увеличения напряжения на двигателе первого и третьего винта и уменьшения напряжения на двигателе второго и четвертого винтов соответственно.

Третий уровень обеспечивает перемещение по координатам  $x$  и  $y$  на основании данных о

значении фактического угла рыскания  $\psi$  и общей тяги  $U_1$  путем пересчета значений фактических углов крена  $\varphi$  и тангажа  $\theta$  для обеспечения минимизации значений рассогласования  $E_x = x_d - x$  и  $E_y = y_d - y$ .

В подсистеме управления углом тангажа квадрокоптера, содержащей непрерывный ПИД-регулятор (рис. 1), реализация требуемого управляющего воздействия обеспечивается путём подстройки соответствующих коэффициентов усиления регулятора, вычисляемых в процессе настройки согласно методу Циглера-Никольса.

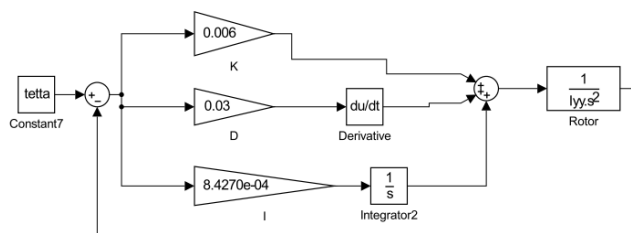


Рис.1. Система управления с непрерывным ПИД-регулятором

При этом переходная характеристика изменения угла тангажа  $\theta$  квадрокоптера характеризуется [7] наличием перерегулирования  $\sigma = 74,7\%$  и временем переходного процесса  $t_p = 43c$ .

С целью анализа возможности дальнейшего уменьшения времени переходного процесса был реализован нечеткий пропорционально-интегрально- дифференциальный регулятор (рис. 2), основанный на декомпозиции рассмотренного выше ПИД-регулятора, когда каждый коэффициент усиления нечёткого ПИД-регулятора представляется в виде нечёткой системы ввода-вывода типа SISO.

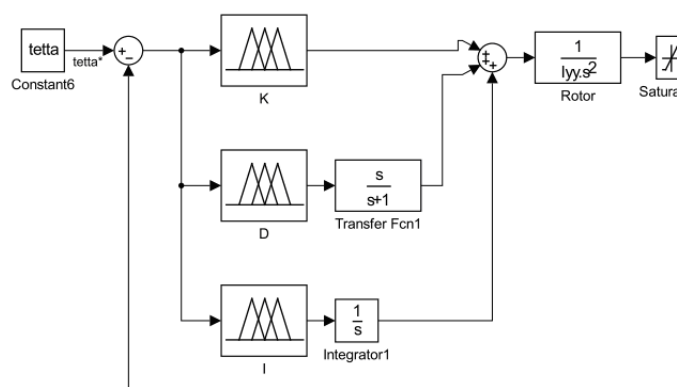


Рис.2. Система управления с нечетким ПИД-регулятором

Входам каждой системы нечеткого ввода-вывода соответствуют входы составляющих ПИД-регулятора: величина рассогласования системы  $e(t)$

(рис. 3), производная ошибки  $\frac{de(t)}{dt}$  (рис. 4) и интеграл ошибки  $\int e(t)$  (рис. 5).

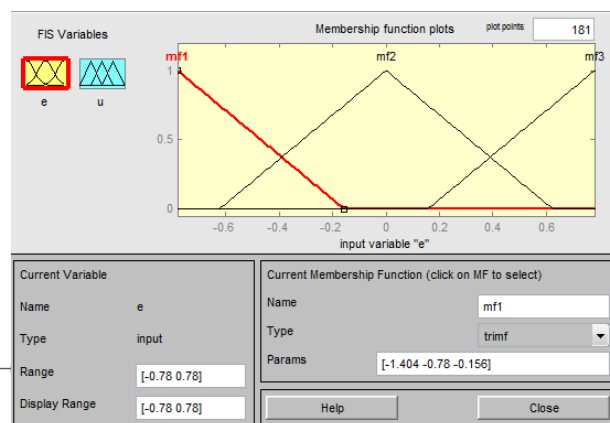


Рис. 3. Нечеткая переменная "величина рассогласования системы"

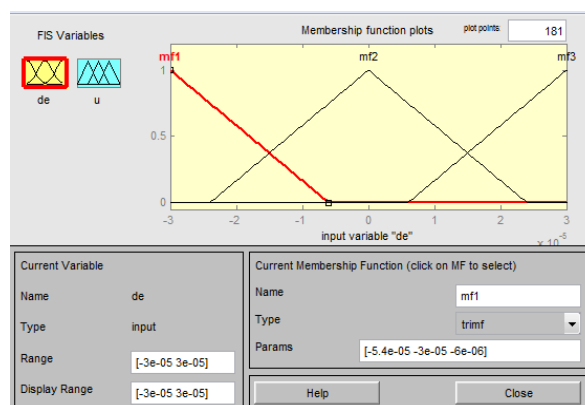


Рис. 4. Нечеткая переменная "производная ошибки"

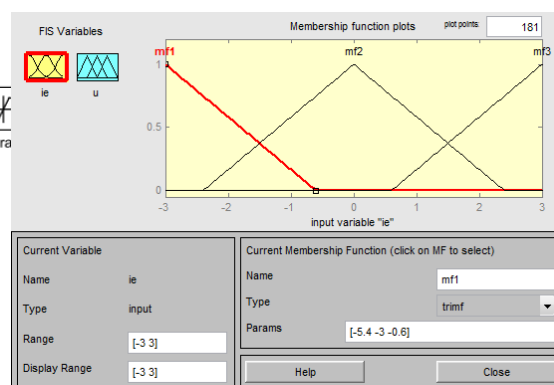


Рис. 5. Нечеткая переменная "интеграл ошибки"

Верхние и нижние границы диапазонов выходных значений соответствующих нечетких систем равны соответствующим коэффициентам непрерывного ПИД-регулятора, рассчитанным по методу Циглера-Никольса (рис. 6-8).

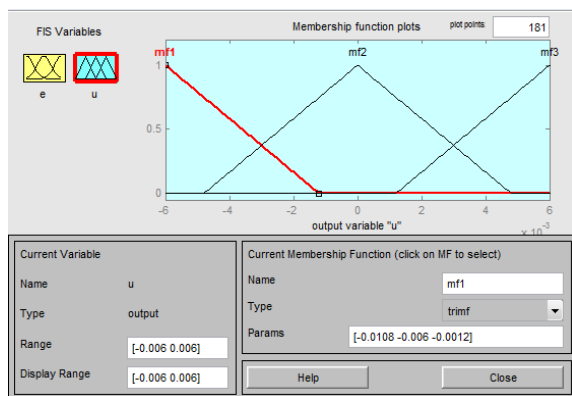


Рис. 6. Нечеткий выход пропорциональной составляющей регулятора

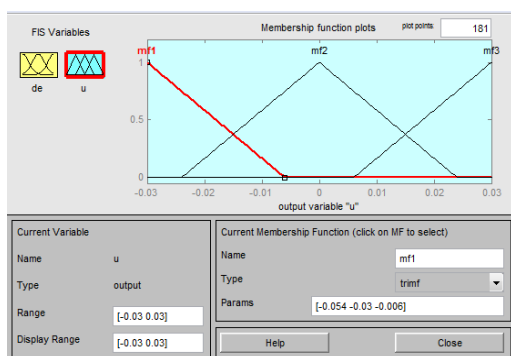


Рис. 7. Нечеткий выход дифференциальной составляющей регулятора

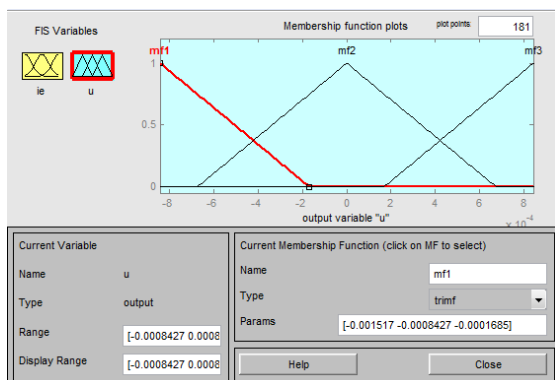


Рис.8. Нечеткий выход интегральной составляющей регулятора

Полученная переходная характеристика системы управления углом тангажа квадрокоптера с нечетким ПИД-регулятором, построенным на основе дезинтеграции составляющих регулятора с последующей фазификацией коэффициентов усиления, показала отсутствие перерегулирования  $\sigma = 0\%$  и время переходного процесса  $t_p = 4с$ .

Вид переходных процессов в системе при использовании ПИД, ПД и нечеткого ПИД-регулятора представлен на рис.9., значения основных параметров достигаемого качества регулирования при этом представлены в таблице 1.

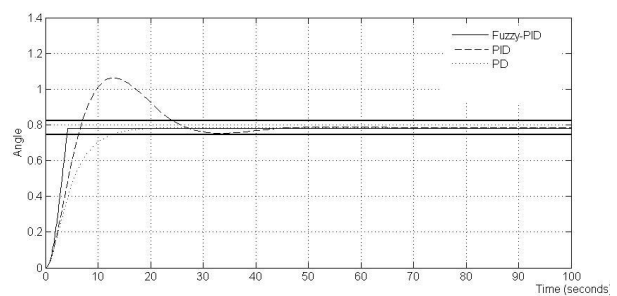


Рис. 9. Сравнительный анализ переходных характеристик систем управления углом тангажа квадрокоптера

Таблица 1

Показатели качества регулирования в зависимости от регулятора

| Регулятор | Перерегулирование $\sigma, \%$ | Время переходного процесса $t_p, с$ . |
|-----------|--------------------------------|---------------------------------------|
| ПИД       | 74,4                           | 43                                    |
| ПД        | 0                              | 12,5                                  |
| Нечеткий  | 0                              | 4                                     |

Таким образом, анализ методов формирования управляющих воздействий в задаче управления углом тангажа  $\theta$  квадрокоптера показал, что с точки зрения обеспечения оптимального соотношения таких показателей качества переходного процесса, как время переходного процесса и перерегулирование, нечеткий пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор, основанный на дезинтеграции составляющих элементов регулятора с последующей фазификацией коэффициентов усиления, обеспечивает минимальное время переходного процесса, по сравнению с линейными ПИД- и ПД-регуляторами, при отсутствии перерегулирования.

**Выводы.** 1. Исходная и линеаризованная модель квадрокоптера имеют схожее поведение для входных данных с малым углом, при этом демонстрирует практически двойное поведение интегратора, реакция которого представляет собой параболическую тенденцию даже для входов с малым шагом.

2. Анализ методов формирования управляющих воздействий в задаче управления углом тангажа квадрокоптера показал, что с точки зрения обеспечения оптимального соотношения таких показателей качества переходного процесса, как время переходного процесса и перерегулирование, нечеткий пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор, основанный на дезинтеграции составляющих элементов регулятора с последующей фазификацией коэффициентов усиления, обеспечивает минимальное время переходного процесса, по сравнению с линейными ПИД- и ПД-регуляторами, при отсутствии перерегулирования.

**Л и т е р а т у р а**

1. Heba talla Mohamed Nabil ElKholy. Dynamic Modeling and Control of a Quadrotor Using Linear and Nonlinear Approaches, 2014, URL: [http://dar.aucegypt.edu/bitstream/handle/10526/3965/Heba\\_ElKholy\\_Thesis\\_S2014.pdf?sequence=1](http://dar.aucegypt.edu/bitstream/handle/10526/3965/Heba_ElKholy_Thesis_S2014.pdf?sequence=1)

2. Zaid Tahir, Vol 9(27), "State Space System Modeling of a Quad Copter UAV", DOI: 10.17485/ijst/2016.

3. Огольцов И.И., Рожнин Н.Б., Шеваль В.В. Разработка математической модели пространственного полета квадрокоптера // Труды МАИ. 2015. № 83. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=62031>

4. Dynamic Model and Control of Quadrotor in the Presence of Uncertainties University of South Carolina Scholar Commons Theses and Dissertations by Courage Agho Bachelor of Science University of South Carolina, 2015, URL: <https://scholarcommons.sc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5091&context=etd>

5. Luis E. Romero, David F. Pozo, Jorge A. Rosales "Quadcopter Stabilization by Using PID Controller" Fecha de recepción: 21 de septiembre de 2014 - Fecha de aceptación: 17 de octubre de 2014 .

6. Финаев В.И., Шаповалов И.О., Мельниченко А.С. Моделирование полета квадрокоптера при применении ПИД-регулирования // Материалы Всероссийской научной конференции. Ч. 1. – Таганрог, 2014.

7. Шульгин С.К. Анализ способов управления ротором квадрокоптера [Текст] / Шульгин С.К., Синепольский Д.О., Юрков В.А // Вестник ЛГУ им. В. Даля / ГОУ ВО ЛНР ЛГУ им. В. Даля. – Луганск, 2022. – №5.

8. P. Saraf, M. Gupta and AM. Parimi, "A Comparative Study Between a Classical and Optimal Controller for a Quadrotor", in 2020 IEEE 17th India Council International Conference (INDICON).

**Shul'gin S.K., Sinopol'skij D.O., Gannota G.V.  
ANALYSIS OF THE FUZZY PID CONTROLLER  
BASED QUADROCOPTER PITCH ANGLE CONTROL  
SYSTEM**

*The paper deals with the issues of constructing a fuzzy control subsystem for a selected parameter of a quadcopter based on its linearized mathematical model, and studying the*

*influence of the selected control algorithm on the time of the transient process and overshooting the transient response in comparison with the results of classical control theory.*

**Keywords:** *quadrocopter, mathematical model, PID controller, decomposition, fuzzy logic, fuzzy inference, DC motor.*

**Шульгин Сергей Константинович**, к.т.н., доцент кафедры «Информационные и управляющие системы» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

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

**Shulgin Sergey Konstantinovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the department "Information and control systems" of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Синепольский Дмитрий Олегович**, старший преподаватель кафедры «Информационные и управляющие системы» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

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

**Sinopol'sky Dmytryi Olehovych**, senior Lecturer of the Department "Information and Control Systems" of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Ганнота Геннадий Викторович**, ассистент кафедры «Информационные и управляющие системы» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** ggannota1957@gmail.com.

**Gannota Gennady Viktorovich**, assistant of the the Department "Information and Control Systems" of the SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Витренко Владимир Алексеевич**, доктор технических наук, профессор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет им. Владимира Даля».

*Статья подана 21.04.2022*

УДК 621.933.1

## СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОТИВОРЕЗОНАНСНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЗУБЧАТОГО РЕДУКТОРА

Утутов Н.Л.

## METHOD OF INCREASING CONTROVERSIAL SUSTAINABILITY GEAR GEAR

Ututov N.L.

*Известно, что зубчатый редуктор (рис.1) представляет собой сложную систему с большим количеством масс и жесткостей, точное моделирование которых оказывается невозможным.*

*Показано [3] использование зубчатых передач некруглыми колесами в зубчатых редукторах вместо передач круглыми зубчатыми колесами. Переменное передаточное отношение передач некруглыми колесами одной пары при соответствующем расположении относительно второй пары передачи некруглыми колесами имеет максимальное значение, в то время как вторая пара некруглыми колесами в редукторе имеет минимальное значение передаточного отношения.*

*Таким образом, исключается сложение собственных частот колебаний зубчатых колес вместе с валами, на которых они насажены, и вынужденных колебаний в редукторе, так как периоды колебаний усилий в зацеплении некруглых передач и вынужденных колебаний в редукторе имеют разные значения.*

**Ключевые слова:** передачи некруглыми зубчатыми колесами, передаточное отношение, частоты колебаний, резонанс.

**Введение.** Зубчатые редукторы находят широкое применение в разнообразных областях машиностроения. В то же время эти редукторы являются во многих случаях источниками колебаний, которые в определенных условиях приводят к резонансным явлениям.

**Целью работы** является способ повышения противорезонансной устойчивости зубчатых редукторов.

**Изложение основного материала.** Известны [1, 2, 3] способы повышения противорезонансной устойчивости редукторов при помощи покрытия деталей редукторов (внутренних стенок корпуса, зубчатых колес и др.) специальными шумопоглощающими материалами, использования неметаллических материалов для зубчатых колес (пластмассы, прессованная древесина и др.). Это пассивное виброгашение.

Недостатками известных способов повышения противорезонансной стойкости является их малая эффективность, ограничивающая диапазон поглощения вибраций.

Известен также способ активного виброгашения [4], заключающийся в том, что к

источнику вибраций добавляют специальный вибратор, генерирующий колебания с такой же частотой и амплитудой, с которыми возбуждается вибрация от источника колебаний, но действующие в противофазе с колебаниями источника, то есть в противоположном направлении. Такой вибратор теоретически должен гасить вибрацию источника колебаний.

Недостатком такого гашения является то, что этот способ эффективен при строго определенных условиях. Дело в том, что такое виброгашение эффективно на одной частоте по одночастотному гармоническому закону. Поэтому такое виброгашение эффективно имеет смысл только для противодействия амплитуды одной частоты, в то время как другие компоненты колебаний несут существенны. Кроме того, в этом случае должны выполняться условия противофазности, которые нарушаются в связи с износом деталей.

Для расширения диапазона противорезонансной стойкости зубчатого редуктора предлагается взамен одной или двух пар зубчатых передач круглыми колесами вводить одну или две пары зубчатых передач некруглыми зубчатыми колесами определенной конфигурации. При этом обеспечивается передаточное отношение этих передач, которое имели передачи круглыми колесами:

$$\frac{1}{u} = i_1(\varphi_1) i_2(\varphi_2), \quad (1)$$

где  $u$  – общее передаточное число двух передач некруглыми зубчатыми колесами;

$i_1(\varphi_1)$  – функция передаточного отношения первой передачи некруглыми зубчатыми колесами;

$i_2(\varphi_2)$  – функция передаточного отношения второй передачи некруглыми зубчатыми колесами;

$\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – угол поворота радиуса центроиды ведущего колеса первой и второй передачи соответственно,

$$\varphi_2 = \int_0^{\varphi_2} i_1(\varphi_1) d\varphi_1, \quad (2)$$

$$i_1(\varphi_1) = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{r_1}{r_2}, \quad (3)$$

$$i_2(\varphi_2) = \frac{\omega_4}{\omega_3} = \frac{r_3}{r_4}, \quad (4)$$

$\omega_1$  и  $\omega_2$  – угловые скорости ведущего и ведомого некруглых зубчатых колес первой пары редуктора;

$\omega_3$  и  $\omega_4$  – угловые скорости ведущего и ведомого некруглых зубчатых колес второй пары редуктора;

$r_1$  и  $r_2$  – радиусы центроид ведущего и ведомого некруглых зубчатых колес первой пары передачи редуктора соответственно;

$r_3$  и  $r_4$  – радиусы центроид ведущего и ведомого некруглых зубчатых колес соответственно второй пары передач редуктора.

Функция передаточного отношения одной из передач некруглыми колесами, например, первой  $i_1(\varphi_1)$ , может быть задана гармонической зависимостью. Функцию  $i_2(\varphi_2)$  передаточного отношения второй передачи некруглыми зубчатыми колесами определяют в зависимости от функции передаточного отношения  $i_1(\varphi_1)$  первой передачи некруглыми зубчатыми колесами по зависимости:

$$i_2(\varphi_2) = \frac{1}{u \cdot i_1(\varphi_1)}. \quad (5)$$

Ведущее колесо второй передачи некруглыми зубчатыми колесами размещают относительно ведомого колеса первой ступени передачи некруглыми зубчатыми колесами таким образом, чтобы максимальные численные значения радиусов центроид ведущего колеса второй ступени передачи некруглыми зубчатыми колесами были размещены в диаметрально направлении против минимальных численных значений радиусов центроиды ведомого колеса ступени передачи некруглыми зубчатыми колесами. При таких условиях скорости ведущего вала первой передачи некруглыми зубчатыми колесами и ведомого вала второй передачи некруглыми зубчатыми колесами будут иметь постоянные численные значения, то есть

$$\omega_1 = const \text{ и } \omega_4 = const. \quad (6)$$

Так как передаточные отношения  $i_1(\varphi_1)$  и  $i_2(\varphi_2)$  первой и второй передач некруглыми зубчатыми колесами между собой связаны зависимостью (5), то сложение частот собственных и вынужденных колебаний (резонанс) в редукторе происходить не будет. Потому что изменения

передаточных отношений  $i_1(\varphi_1)$  и  $i_2(\varphi_2)$  происходят в противофазе одно к другому непрерывно за один полный оборот ведущих колес этих передач. При этом сложение частот собственных и вынужденных (резонанс) в редукторе происходить не будет независимо от изменения нагрузок в зацеплении зубчатых колес, а также износа деталей редуктора, так как для появления резонанса требуется некоторый период времени, чтобы частоты собственных и вынужденных колебаний «подстроились» одна к другой, то есть стали равными или кратными одна с другой. В редукторе с некруглыми зубчатыми колесами, помещенными вместо круглых колес с такими передаточными средними отношениями, собственные и вынужденные частоты колебаний, как видно из (1) и (5), изменяются в противофазе за весь полный оборот ведущего колеса.

При заданной функции передаточного отношения  $i_1(\varphi_1)$  первой передачи некруглыми колесами численные значения радиусов центроид этой передачи определяются зависимостями:

$$r_1 = \frac{a_{w1} i_1(\varphi_1)}{1 + i_1(\varphi_1)}, \quad (7)$$

$$r_2 = \frac{a_{w1}}{1 + i_1(\varphi_1)}, \quad (8)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  – радиусы центроид ведущего и ведомого некруглых колес первой передачи,

$a_{w1}$  – межосевое расстояние первой передачи некруглыми зубчатыми колесами.

Численные значения радиусов центроид некруглых колес другой передачи выполняют взаимозависимыми от численных значений радиусов центроид колес первой передачи некруглыми зубчатыми колесами согласно зависимостей ведущего и ведомого соответственно:

$$r_3 = \frac{a_{w2}}{u \cdot i_1(\varphi_1) \cdot [1 + u \cdot i_1(\varphi_1)]}, \quad (9)$$

$$r_4 = \frac{a_{w2}}{1 + u \cdot i_1(\varphi_1)}, \quad (10)$$

где  $r_3$  и  $r_4$  – радиусы центроид ведущего и ведомого некруглых колес второй передачи;

$a_{w2}$  – межосевое расстояние второй передачи некруглыми зубчатыми колесами;

$u$  – передаточное число второй передачи некруглыми зубчатыми колесами.

На рис. 1 изображена кинематическая схема трехступенчатого цилиндрического зубчатого редуктора, в котором первая передача некруглыми колесами состоит из ведущего некруглого колеса 1 и

ведомого некруглого зубчатого колеса 2. Другая передача некруглыми зубчатыми колесами состоит из ведущего некруглого зубчатого колеса 3 и ведомого некруглого зубчатого колеса 4. Зубчатые колеса 5 и 6 выполнены круглыми. Валы 7 – ведущий и 8 – ведомый в первой передаче некруглыми колесами. Валы 8 – ведущий и 9 – ведомый в другой передаче некруглыми колесами. Валы 9 – ведущий и 10 – ведомый в передаче круглыми зубчатыми колесами. Все зубчатые колеса и валы расположены в корпусе 11.

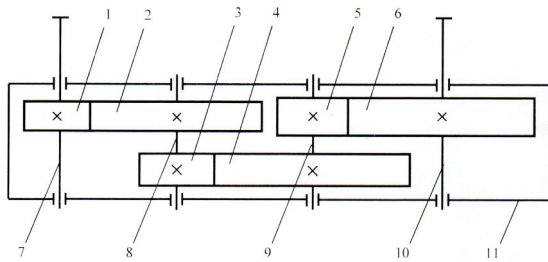


Рис. 1.

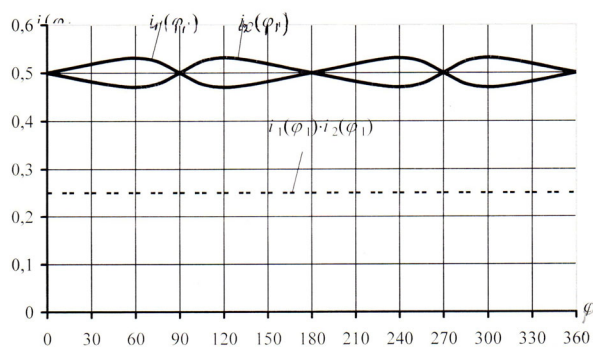


Рис. 2.

Зубчатый редуктор с некруглыми зубчатыми колесами функционирует следующим образом.

Некруглое зубчатое колесо 1 (рис.1) вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega_1$ . Некруглое зубчатое колесо 2 зацепляется с некруглым колесом 1 и вследствие переменного передаточного отношения вращается с переменной угловой скоростью  $\omega_2 = const$ .

Переменное передаточное отношение этой передачи  $i_1(\varphi_1)$  определяется зависимостью (2), например, график  $i_1(\varphi_1)$  на рис.2. Вал 8 вместе с некруглыми зубчатыми колесами 2 и 3 (рис.1) вращается с переменной угловой скоростью  $\omega_2 = const$ . Некруглое зубчатое колесо 4 (рис.1) зацепляется с некруглым колесом 3 и вращает вал 9 с постоянной угловой скоростью  $\omega_3 = const$ , так как функция передаточного отношения  $i_2(\varphi_2)$  другой передачи некруглыми зубчатыми колесами 3

и 4 (график  $i_2(\varphi_2)$  на рис.2) взаимосвязана зависимостью (5) с функцией передаточного отношения  $i_1(\varphi_1)$  первой передачи некруглыми зубчатыми колесами 1 и 2. При этом некруглые зубчатые колеса 2 и 3 (рис.1) расположены на валу 8 таким образом, чтобы максимальные численные значения радиусов центроиды ведущего некруглого колеса 3 располагались в диаметрально противоположном направлении с минимальным численным значением радиусов центроиды ведомого колеса 2 первой передачи некруглыми зубчатыми колесами (рис.1). В результате такого расположения некруглых зубчатых колес 2 и 3 валы 9 и 10 будут вращаться с постоянными угловыми скоростями, то есть будет  $\omega_3 = const$  и  $\omega_4 = const$ , а функции передаточных отношений  $i_1(\varphi_1)$  и  $i_2(\varphi_2)$  будут находиться в противофазе (рис.2) и будут препятствовать сложению частот (резонансу) колебаний собственных и вынужденных в редукторе.

Таким образом, переменные функции передаточных отношений первой и второй передач некруглыми зубчатыми колесами, которые взаимосвязаны и находятся в противофазе одна другой, обеспечивают постоянную угловую скорость вращения ведомого (выходного) вала 10 редуктора и препятствуют сложению и кратности частот колебаний собственных и вынужденных в редукторе. В результате этого повышается противорезонансная стойкость редуктора. При этом обеспечивается широкий диапазон противорезонансной стойкости редуктора.

Описанный способ может быть использован в механических приводах машин и механизмов разнообразного назначения во всех областях машиностроения.

**Выводы.** 1. Предложен в общем виде способ борьбы с резонансными колебаниями в зубчатом редукторе с помощью зубчатых передач некруглыми колесами.

2. Переменные передаточные отношения передач некруглыми зубчатыми колесами, помещенные в редукторе вместо передач круглыми зубчатыми колесами препятствуют сложению частот собственных и вынужденных в механическом приводе, в том числе в редукторе.

Предложенный способ борьбы с резонансными колебаниями отличается компактностью и надежностью конструкции, не требующий дополнительных устройств, может быть применен в механических устройствах для различных областей машиностроения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Динамические процессы в механизмах с зубчатыми передачами. Сборник АН СССР. – М.: изд-во «Наука», 1976. – 155 с.

2. Кудрявцев В.Н., Державец Ю.А., Глухарев Е.Г. Конструкции и расчет зубчатых редукторов. Справочное пособие. – Л: Машиностроение, 1971. – 328 с.

3. Утутов Н.Л., Носко П.Л., Карпов А.П. Проектирование зубчатых передач с асимметричной функцией передаточного отношения. – Луганск. Изд-во «Ноулидж», 2012. – 204 с.

4. Щепетильников В.А. Уравновешивание механизмов. – М.: «Машиностроение», 1982. — 256 с.

**Ututov N.L.**

#### **METHOD OF INCREASING CONTROVERSIAL SUSTAINABILITY GEAR GEAR**

*It is known that the toothed gearbox (Fig. 1) is a complex system with a large amount of mass and cruelty, which is impossible to accurately model.*

*It is shown to use gear gears with non-circular wheels in gear gearboxes instead of transmissions with round gear wheels. A variable gear ratio of transmissions with non-circular wheels of one pair with the corresponding location relative to the second pair of transmission with non-circular wheels has the maximum value while the second pair of non-circular wheels in the gearbox has a minimal gear ratio.*

*Thus, the addition of its own frequencies of gear wheels along with the shafts on which they are planted, and forced oscillations in the gearbox, since periods of efforts in the engagement of non-circular gears and forced oscillations in the gearbox have different meanings.*

**Keywords:** *transfers with non-circular gears, gear ratio, oscillation frequency, resonance.*

**Утутов Николай Лазаревич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Машиноведение» ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**E-mail:** machine\_lug@mail.ru

**Ututov Nikolaj Lazarevich**, Doctor of technical sciences, Professor, Professor at the Department of Machine Science Engineering, SEE HT LPR "Lugansk Vladimir Dahl State University".

**Рецензент: Нечаев Григорий Иванович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспортных технологий ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 14.04.2022*

## 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--plai/spravka-antiplagiat>  
<https://text.ru/antiplagiat>  
<https://content-watch.ru/text/>  
<https://advego.com/antiplagiat/>

#### ДЛЯ СОТРУДНИКОВ УНИВЕРСИТЕТА:

1. Рецензия (подписанная проф. или чл.ред.кол)
2. Заявка автора(ов)
3. Анкета автора(ов)
4. Проверка на антиплагиат (распечатка)  
<https://xn----7sbbaar5acc1ard1a0beh.xn--plai/spravka-antiplagiat>  
<https://text.ru/antiplagiat>  
<https://content-watch.ru/text/>  
<https://advego.com/antiplagiat/>

– электронный вариант статьи (первая фамилия автора статьи):

**Название файла статьи:** <фамилия автора\_город> например – Петров\_Луганск.doc.

Название английского файла Petrov\_Lugansk.doc.

Статья сохраняется в форматах \*.doc, \*.docx, \*.rtf.

– рецензия \*.doc, \*.docx.

**Внимание!** Убедительная просьба, проверить получение редакцией материалов.

**Внимание!** Редакция оставляет за собой право возвращать статьи авторам на доработку в следующих случаях: правка ошибок после вычитки, статья небрежно оформлена и не соответствует требованиям редакции.

**ДЛЯ ВЫЧИТКИ** текст статьи распечатывают в соответствии требованиями:

- формат А4 (поля по 20 мм с каждой стороны);
- шрифт Times New Roman,
- размер – 14 пт,
- межстрочное расстояние – 1,5 строки.
- четкая печать на лазерном или струйном принтере.

Статьи подаются в одном экземпляре, напечатанные на лазерном (струйном) принтере, с подписями всех авторов, **e-mail: izdat.lguv.dal@gmail.com**, а также предоставляются данные на английском языке (авторы статьи, заглавие статьи; наименование организации, ведомства, должность, электронный адрес автора); аннотация; ключевые слова; список литературы латиницей).

**СТРУКТУРА СТАТЬИ**

УДК

**НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (на языке текста)****Фамилии, инициалы авторов (на языке текста статьи)****НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (на английском языке)****Фамилии, инициалы авторов (на английском языке)***Аннотация на языке статьи***Ключевые слова:**

Основной текст статьи, включающий следующие разделы:

**Введение****Изложение основного материала****Результаты исследований****Выводы****Л и т е р а т у р а на языке текста статьи****References латиницей****Фамилии, имя, отчество (ПОЛНОСТЬЮ), название статьи (на английском языке)***Аннотация (на английском языке)**Ключевые слова (на английском языке)***Сведения об авторах (на русском и английском языке), e-mail: (каждого автора)****Рецензент***Статья подана***ПРИМЕЧАНИЕ:****1. Место работы писать ПОЛНОСТЬЮ для сотрудников****ГООУ 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 места работы рецензента).****5. Распечатка на антиплагиат.**

**ВЕСТНИК: НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»**  
**№ 5 (59) 2022**

Оригинал-макет

*Коломиец-Кириллова Е.А.*

---

Подписано к печати 24.06.2022.  
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times  
Условных печатных стр. 48,82. Тираж 100 экз. Изд. № 01303.

---

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  
**Луганского государственного университета**  
**имени Владимира Даля**

*Свидетельство о регистрации серия МИ-СГР ИД 000003 от 20.11.2015 г.*

**Адрес издательства:** 91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20,а.

**Тел.:** (072) 138-34-80

**E-mail:** izdat.lguv.dal@gmail.com

**http://izdat.dahluniver.ru/**