



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Основан в 2018 г.

ISSN 2658-3399

# Вестник Вологодского государственного университета

Серия:  
Технические  
науки



№ 2(8)/2020

V E S T N I K  
V O L O G D A S T A T E  
U N I V E R S I T Y

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ВЕСТНИК**  
**ВОЛОГОДСКОГО**  
**ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**УНИВЕРСИТЕТА**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 2018 г.

**№ 2 (8) / 2020**

СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВОЛОГДА  
2020

№ 2 (8) / 2020 / ИЮЛЬ. Выходит 4 раза в год.

Научный журнал «Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки» включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) с 2018 г.

Полнотекстовые версии выпусков научного журнала размещены в свободном доступе на сайте Научной электронной библиотеки ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru))

**Серия:** Технические науки

**Группы специальностей:** 05.02.00 Машиноведение, системы приводов и детали машин;  
05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление;  
05.23.00 Строительство и архитектура

**Учредитель и издатель:** федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодский государственный университет»

**Свидетельство о регистрации СМИ:** ПИ № ФС77-75456 от 05 апреля 2019 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

**Главный редактор**

*А.А. Кочкин*, доктор технических наук, директор Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета

**Заместители главного редактора:**

*А.Е. Немировский*, доктор технических наук, профессор Вологодского государственного университета,

*А.Н. Швецов*, доктор технических наук, профессор Вологодского государственного университета

**Секретарь**

*В.А. Раков*, кандидат технических наук, доцент Вологодского государственного университета

**Члены редколлегии:**

*А.Н. Алюнов*, кандидат технических наук, зам. директора Института машиностроения, энергетики и транспорта Вологодского государственного университета,

*В.П. Гусев*, доктор технических наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН),

*И.В. Зефирова*, кандидат технических наук, доцент Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина,

*К.В. Кияненко*, доктор архитектуры, профессор Вологодского государственного университета,

*В.И. Леденёв*, доктор технических наук, профессор Тамбовского государственного технического университета,

*С.В. Лукин*, доктор технических наук, профессор Череповецкого государственного университета,

*В.И. Римшин*, доктор технических наук, профессор Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН),

*А.С. Степанов*, кандидат технических наук, доцент Вологодского государственного университета,

*Л.Э. Шашкова*, кандидат технических наук, зам. директора Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета,

*В.А. Шорин*, доктор химических наук, профессор Вологодского государственного университета,

*И.Л. Шубин*, доктор технических наук, директор Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)

**Переводчик** – *Т.В. Михайлюк*, кандидат педагогических наук, доцент Вологодского государственного университета

**Редакторы** – *А.И. Ланькова*, *А.П. Митракова*, *Н.Н. Постникова*

**Оригинал-макет** – *Н.В. Подхомутова*

**Адрес редакции:** 160000, г. Вологда, ул. Сергея Орлова, д. 6, каб. 202а; тел.: 8 (8172) 76-91-92, 72-11-55  
e-mail: [vestniktech@vogu35.ru](mailto:vestniktech@vogu35.ru)

**ISSN 2658-3399**

© ФГБОУ ВО «Вологодский  
государственный университет», 2020

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION  
FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION  
VOLOGDA STATE UNIVERSITY

# **BULLETIN OF VOLOGDA STATE UNIVERSITY**

SCIENTIFIC JOURNAL

First published in 2018

**No. 2 (8) / 2020**

SERIES: TECHNICAL SCIENCIES

VOLOGDA  
2020

No. 2 (8) / 2020 / JULY. It is issued 4 times a year.

Scientific Journal "Bulletin of Vologda State University. Series: Technical sciences" has been included into Russian Science Citation Index (RSCI) since 2018.

Full-text versions of the scholarly journal issues are freely available on the website of Scientific Electronic Library ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru))

**Series:** Technical Sciences

**Academic areas:** 05.02.00 Mechanical engineering, drive systems and machine parts;  
05.13.00 Computer science, computer engineering and management;  
05.23.00 Construction and architecture

**Founder and publisher:** Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vologda State University

**Mass Media Registration Certificate:** PI No. FS77-75456 dated of April 05, 2019 was issued by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies and Mass Communications (Roskomnadzor)

**Editor-in-Chief**

*A.A. Kochkin*, Doctor of Engineering, Director of Civil Engineering Institute of Vologda State University

**Assistant editors:**

*A.N. Shvetsov*, Doctor of Engineering, Professor of Vologda State University

*A.E. Nemirovsky*, Doctor of Engineering, Professor of Vologda State University

**Secretary:**

*V.A. Rakov*, Candidate of Engineering, Associate Professor of Vologda State University

**Members of the Editorial Board:**

*A.N. Alyunov*, Candidate of Engineering, Deputy Director of the Institute of Engineering, Energy and Transport, Vologda State University,

*V.P. Gusev*, Doctor of Engineering, Senior Researcher, Head of the Laboratory of the Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN),

*I.V. Zefirov*, Candidate of Engineering, Associate Professor of Vologda State Dairy and Economics Academy named after N.V. Vereshchagin,

*K.V. Kiyanenko*, Doctor of Architecture, Professor of Vologda State University,

*V.I. Ledenev*, Doctor of Engineering, Professor of Tambov State University,

*S.V. Lukin*, Doctor of Engineering, Professor of Cherepovets State University,

*V.I. Rimshin*, Doctor of Engineering, Professor of the Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN),

*L.E. Shashkova*, Candidate of Engineering, Deputy Director of Civil Engineering Institute of Vologda State University

*A.S. Stepanov*, Candidate of Engineering, Associate Professor of Vologda State University,

*V.A. Shorin*, Doctor of Chemistry, Professor of Vologda State University,

*I.L. Shubin*, Doctor of Engineering, Director of the Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN)

**Translator** – *T.V. Mikhailyuk*, Candidate of Pedagogy, Associate Professor of Vologda State University

**Editors** – *A.I. Lankova*, *A.P. Mitrakova*, *N.N. Postnikova*

**Original layout** – *N.V. Podhomutova*

**Editorial office:** 160000, Vologda, Sergeya Orlova st., 6, office 202a; tel.: 8 (8172) 76-91-92, 72-11-55  
e-mail: [vestniktech@vogu35.ru](mailto:vestniktech@vogu35.ru)

## Содержание

### МАШИНОВЕДЕНИЕ, СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ И ДЕТАЛИ МАШИН

<i>Андреев А.Н., Колесниченко Д.А., Королев Т.В., Шейбухов С.Н.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МУФТ ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНОГО СТАНКА.....	7
<i>Попов И.П.</i> ИНЕРТНАЯ КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ИЗ ДВУХ ГРУЗОВ ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ.....	10
<i>Плясов А.В., Трушин Н.Н.</i> КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА КОМПАКТНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГИДРОТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ТИХОХОДНЫХ МАШИН .....	13
<i>Яхричев В.В.</i> ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ.....	17

### ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<i>Березовская Е.М., Мамичев И.С.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ПО РАБОТЕ С ТОВАРАМИ.....	23
<i>Дианов С.В., Швецов А.Н.</i> ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ НЕОТЛОЖНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ .....	27
<i>Кузьмин А.Г., Умаров М.Ф.</i> ОБРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ МАССИВОВ ДАННЫХ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В БОЛЬНИЦАХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	34
<i>Мухамеджонова Ш.М., Назимов А.Б.</i> БЫСТРЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ МАССИВОВ ДАННЫХ .....	40
<i>Старкова Л.Е., Балашов Е.П.</i> АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ.....	44
<i>Чертовской В.Д.</i> СИСТЕМНАЯ МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ.....	49
<i>Швецов А.Н., Колосов А.В.</i> АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНОЙ СЕМАНТИКИ .....	55
<i>Швецов А.Н., Степуков Н.С.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭВАКУАЦИИ НА ОСНОВЕ АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПОДХОДОВ .....	59

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Ковалева О.В., Ковалев В.В.</i> ПОЛУЧЕНИЕ БИОВОДОРОДА ДЛЯ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ.....	62
<i>Михалевич Н.В., Кошелева Ж.В.</i> ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ СОЧЕТАНИЙ УСИЛИЙ В РАСЧЕТАХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ОДНОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ.....	67
<i>Монаркин Н.Н.</i> ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ НА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ .....	71
<i>Поляков Т.А., Поварова О.А.</i> ПОДГОТОВКА ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ДЕКОРА ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ КОМБИНИРОВАННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТА И СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ.....	75
<i>Соловьев С.А., Шевцов Л.С.</i> ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПАРАМЕТРАМ ТРЕЩИНЫ НА ОСНОВЕ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ.....	78
<i>Вельсовский А.Ю., Сеницын А.А., Габитов Н.Н.</i> РАЗРАБОТКА ГИДРОИЗОЛИРУЮЩЕГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ, УВЕЛИЧИВАЮЩЕГО ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИЙ И ПОВЫШАЮЩЕГО ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ К АГРЕССИВНЫМ ФАКТОРАМ.....	82
<i>Сведения об авторах.....</i>	85

## CONTENTS

### MACHINING, DRIVE SYSTEMS AND MACHINE PARTS

<i>Andreev A.N., Kolesnichenko D.A., Korolev T.V. Sheybukhov S.N.</i> AUTOMATED DIAGNOSTIC SYSTEM FOR ELECTROMAGNETIC CLUTCHES OF A TURNING-CAROUSEL MACHINE .....	7
<i>Popov I.P.</i> TWO CARGO INERT OSCILLATORY SYSTEM FOR VIBRATION MECHANISMS .....	10
<i>Plyasov A.V., Trushin N.N.</i> KINEMATIC DIAGRAM OF A COMPACT MULTIFUNCTIONAL HYDRAULIC TRANSFORMER FOR LOW-SPEED VEHICLES .....	13
<i>Yakhrichiev V.V.</i> IMPROVEMENT OF THE SAFETY LEVEL OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTION PROCESSES BY VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY .....	17

### COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

<i>Berezovskaya E.M., Mamichev I.S.</i> DESIGN AND DEVELOPMENT OF WEB APPLICATION FOR WORK WITH GOODS .....	23
<i>Dianov S.V., Shvetsov A.N.</i> SIMULATION MODELING OF EMERGENCY HEALTH CARE SYSTEM .....	27
<i>Kuzmin A.G., Umarov M.F.</i> PROCESSING AND USE OF MEDICAL INFORMATION LARGE DATA SETS IN HOSPITALS OF VOLOGDA REGION .....	34
<i>Mukhamedzhonova Sh.M., Nazimov A.B.</i> FAST PROCESSING ALGORITHMS FOR LARGE DATA SETS .....	40
<i>Starkova L.E., Balashov E.P.</i> ANALYSIS OF DIGITAL ELECTRIC POWER STATIONS IMPLEMENTATION EXPEDIENCY .....	44
<i>Chertovskoy V.D.</i> SYSTEM MULTILEVEL MANUFACTURING CONTROL MODEL .....	49
<i>Shvetsov A.N., Kolosov A.V.</i> AUTOMATIC INFORMATION PROCESSING BASED ON FORMAL SEMANTICS .....	55
<i>Shvetsov A.N., Stepukov N.S.</i> MODELING OF EVACUATION PROCESS BASED ON AGENCY-ORIENTED APPROACHES .....	59

### CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

<i>Kovaleva O.V., Kovalev V.V.</i> BIOHYDROGEN PRODUCTION FOR HEATING SYSTEMS USING BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES .....	62
<i>Mikhalevich N.V., Kosheleva J.V.</i> IMPACT OF CHANGES IN CALCULATIONS OF SINGLE-STOREY BUILDINGS REINFORCED CONCRETE COLUMNS WHEN DESIGNING FORCE COMBINATIONS .....	67
<i>Monarkin N. N.</i> IMPACT OF REGENERATIVE HEAT EXCHANGER EFFICIENCY ON AIR DISTRIBUTION .....	71
<i>Polyakov T.A., Povarova O.A.</i> PREPARATION OF WOOD MATERIALS FOR CONSTRUCTION AND DECORATION BY PROCESSING WOOD WITH COMBINED EXPOSURE TO ULTRAVIOLET AND MICROWAVE RADIATION .....	75
<i>Solovyev S.A., Shevtsov L.S.</i> LOAD-BEARING CAPACITY EVALUATION OF FLEXURAL REINFORCED CONCRETE ELEMENTS BY CRACK PARAMETERS BASING ON FRACTURE MECHANICS .....	78
<i>Velsovskij A.Y., Sinitsyn A.A., Gabibov N.N.</i> DEVELOPMENT OF WATERPROOFING COMPOUND BASED ON ORGANIC POLYMERS THAT INCREASES THE DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES AND THEIR RESISTANCE TO AGGRESSIVE FACTORS .....	82
<i>INFORMATION ABOUT THE AUTHORS</i> .....	85

УДК 621.641



*А.Н. Андреев, Д.А. Колесниченко,  
Т.В. Королев, С.Н. Шейбухов*  
Вологодский государственный университет

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МУФТ ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНОГО СТАНКА

Рассмотрены вопросы интеграции системы диагностирования электромагнитных муфт многоступенчатой коробки передач токарно-карусельного станка в систему автоматики, реализованную в процессе модернизации станочного комплекса.

Техническая диагностика, рабочее диагностирование, тестовое диагностирование, станкостроение, металлообработка.

Металлорежущие станки, выпущенные во времена Советского Союза отечественной промышленностью, реализовывались с большим нагрузочным резервом по элементам механической части и по истечении 30–40 лет эксплуатации не выработали механический ресурс. Указанный факт позволяет эффективно выполнять модернизационные работы по элементам электромеханики и автоматики, которая для большинства случаев устарела не только морально, но и физически. С экономической точки зрения модернизация обеспечивает не только новые уровни управляемости оборудованием, но и дает возможность решать ряд сервисных функций, в том числе из области технической диагностики.

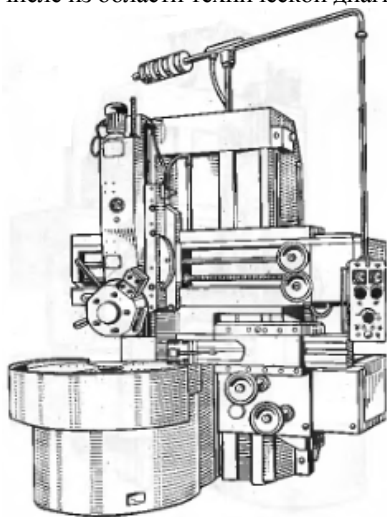


Рис. 1. Токарно-карусельный станок

Регулирование скорости вращения план-шайбы токарно-карусельного станка в классическом варианте осуществляется с помощью механической многоступенчатой коробки переменных передач, переключение ступеней которой осуществляется с помощью электромагнитных муфт (рис. 1).

Критическим аспектом при реализации автоматического переключения передач является работоспособность электромагнитных муфт, заранее известная комбинация включения которых обеспечивает тре-

буемую скорость вращения план-шайбы в функции радиуса, на котором осуществляется резание металла.

В процессе модернизации системы управления резанием на основе промышленного контроллера Siemens Simatic S7-1200 появляется возможность реализации системы диагностирования электромагнитных муфт как в тестовом режиме, так и непосредственно во время работы.

Известные и перспективные методы технической диагностики для сложного технологического оборудования, например, продемонстрированные в [1, 2, 3] и использующие методы спектрального анализа токов и магнитной индукции электромеханических преобразователей, выглядят избыточными для анализа состояний электромагнитных муфт постоянного тока.

Наиболее объективным диагностическим признаком, характеризующим работоспособность электромагнитной муфты, является установившееся значение тока потребления. Отсутствие тока свидетельствует об отсутствии цепей питания, несущественное отклонение от номинального значения говорит о режиме перегрузки, существенное превышение тока потребления является признаком витковых замыканий в катушке муфты. Измерение тока осуществляется датчиком на эффекте Холла – LEMLA-205. Так как токи в рабочем и тестовом диагностировании отличаются на порядок, на датчик выполнена намотка двух катушек с различным числом витков (рис. 2).

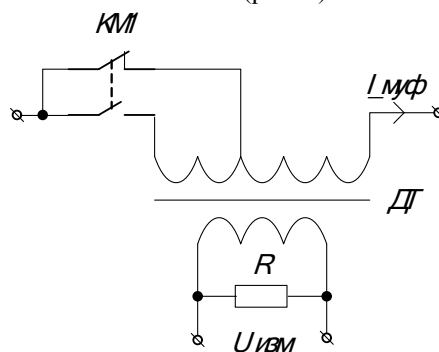


Рис. 2. Функциональная схема измерения с масштабированием тракта измерения

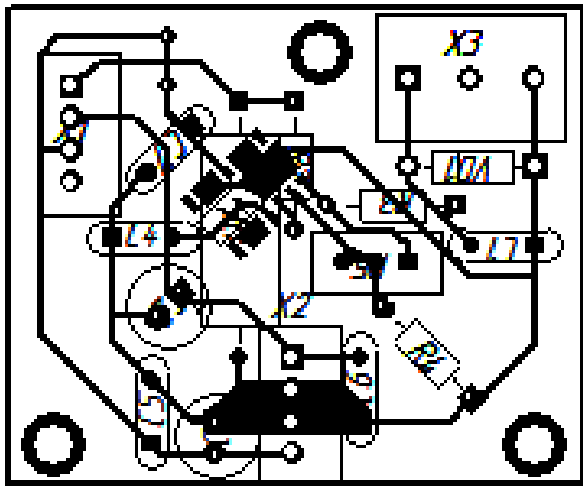


Рис. 3. Сторона паек печатной платы

System screens		service		Sunday, December 31, 2000 10:59:39 AM	
Пуск/стоп системы диагностики муфт					
дата последней диагностики 12/31/2000 10:59:39 AM					
		Пуск		Стоп	
Ток муфты 1Э1	00.0 A	Ток муфты 2Э1	00.0 A		
Ток муфты 1Э2	00.0 A	Ток муфты 2Э2	00.0 A		
Ток муфты 1Э3	00.0 A	Ток муфты 2Э3	00.0 A		
Ток муфты 1Э4	00.0 A	Ток муфты 2Э4	00.0 A		
Ток муфты 1Э5	00.0 A	Ток муфты 2Э5	00.0 A		
Ток муфты 1Э6	00.0 A	Ток муфты 2Э6	00.0 A		
Ток муфты 1Э7	00.0 A	Ток муфты 2Э7	00.0 A		
Ток муфты 1Э8	00.0 A	Ток муфты 2Э8	00.0 A		
Ток муфты 1Э9	00.0 A	Ток муфты 2Э9	00.0 A		
Ток муфты 1Э10	00.0 A	Ток муфты 2Э10	00.0 A		
		Ток муфты 2Э11	00.0 A		
		Ток муфты 2Э12	00.0 A		
		Ток муфты 2Э13	00.0 A		
		Ток муфты 2Э14	00.0 A		
		Ток муфты 2Э15	00.0 A		

Рис. 4. Экран тестового диагностирования

Рис. 5. Основной экран с выводом информации о токах муфт

Переключение канала измерения осуществляется контроллером системы в функции режима диагностирования. Информационный сигнал датчика токовый, что обеспечивает минимизацию высокочастотных помех при использовании пассивного RC-фильтра. Схема печатной платы, разработанная для датчика, представлена на рисунке 3.

Организация канала измерения токов потребления электромагнитных муфт позволяет в режиме идентификации измерить токи потребления всех муфт, которые в дальнейшем используются в качестве эталонных значений.

В режиме тестового диагностирования проверяется работоспособность всех электромагнитных муфт путем сравнения текущих значений тока каждой из них с эталонными значениями, занесенными в память промышленного контроллера.

Результаты диагностирования выводятся на экран (рис. 4).

Рабочее диагностирование осуществляется в процессе металлообработки путем сравнения токов каж-

дой из включенных муфт с эталонными значениями для каждой из скоростей вращения планшайбы станка. Результаты диагностирования выводятся на экран (рис. 5).

Интегрированная в автоматику станка система диагностирования электромагнитных муфт позволяет оперативно выявлять нештатные режимы работы и с минимальными затратами времени корректировать режимы резания даже без замены муфты с выявленными дефектами.

### Литература

1. Андреев, А. Н. Диагностирование механизмов циклического действия прокатного производства на примере рольганга / А. Н. Андреев, Д. А. Колесниченко // Производство проката. – 2018. – № 3. – С. 8–14.
2. Андреев, А. Н. Измерение и первичная обработка сигнала датчика магнитной индукции в рабочей зоне электромеханической системы / А. Н. Андреев, Д. А. Колесниченко, Н. М. Колесниченко // Измерительная техника. – 2018. – № 8. – С. 51–54.

3. Andreev, A. N. Measuring and Primary Processing of Signals of a Sensor of Magnetic Induction in the Working Zone of an Electromechanical System / A. N. Andreev, D. A. Kolesnichenko, N. M. Kolesnichenko // Measurement Techniques. – Vol. 61, Issue 8. – P. 812–816.

*A.N. Andreev, D.A. Kolesnichenko, T.V. Korolev, S.N. Sheybukhov*

**AUTOMATED DIAGNOSTIC SYSTEM FOR ELECTROMAGNETIC CLUTCHES  
OF A TURNING-CAROUSEL MACHINE**

The issues of the integration of the diagnostic system for electromagnetic couplings of a turning and rotary machine multi-stage gearbox into the automation system implemented in the process of modernizing the machine tool complex are considered.

Technical diagnostics, working diagnostics, test diagnostics, machine tool building, metal processing.



### ИНЕРТНАЯ КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ИЗ ДВУХ ГРУЗОВ ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Приводится описание колебательного механизма с однородными элементами, а именно с двумя массивными грузами (биинертный осциллятор). Приводится описание методики расчета бинарного осциллятора. Представлена возможная кинематическая схема колебательного механизма с возможностью возникновения гармонических колебаний.

Колебательный механизм, осциллятор, инертный, гармонический, реактивный, пространственный сдвиг, фазовый сдвиг, кинетическая энергия.

Существуют электромеханические колебательные системы [1], в которых свободные гармонические колебания осуществляются за счет взаимного преобразования потенциальной энергии пружины в энергию электрического поля конденсатора [2] или кинетической энергии груза в энергию магнитного поля катушки индуктивности [3]. Таким образом, свободные гармонические колебания сопровождаются самыми разнообразными вариантами преобразования энергии [4, 5].

В ряде случаев использование упругих механических или электромеханических элементов ограничено из-за условий среды или большой массы колебательной системы.

В этой связи представляет интерес возможность возникновения свободных гармонических колебаний, осуществляемых за счёт преобразования кинетической энергии одного груза в кинетическую энергию другого (*цель исследования*). Реализующая такие колебания система должна состоять только из инертных элементов. Механизм обмена энергией между однородными элементами в такой системе позволит, в частности, расширить возможности нейтрализации реакции инертных объектов на внешние периодические воздействия [6].

В такой системе свободные гармонические колебания создаются за счет обмена энергией между элементами колебательной системы [7]. В механическом линейном гармоническом осцилляторе происходит обмен энергией между разнородными элементами – грузом (инертным элементом) и пружиной (упругим элементом) [8]. При этом кинетическая энергия груза преобразуется в потенциальную энергию пружины и наоборот [9]. Для предварительного расчета такой колебательной системы приведена методика, основанная на системе уравнений колебательных процессов.

**Синтез биинертной системы.** Синтез системы осуществляется на основе двух исходных условий.

*Первое исходное условие.* Система содержит два инертных элемента – два груза массой  $m$  каждый. Элементы совершают гармонические колебания:

$$\begin{aligned}x_1 &= A \sin(\zeta + \zeta_1), \\x_2 &= A \sin(\zeta + \zeta_2),\end{aligned}$$

где  $x_1, x_2$  – текущие координаты грузов,  $A$  – амплитуда колебаний,  $\zeta$  – фаза,  $\zeta_1, \zeta_2$  – начальные фазы.

*Второе исходное условие.* Энергия системы при колебаниях не меняется:

$$W_1 + W_2 = \text{const.}$$

Одновременный учет обоих исходных условий дает представление о характере связи между инертными элементами. Действительно,

$$\frac{m}{2} \left( \frac{dx_1}{dt} \right)^2 + \frac{m}{2} \left( \frac{dx_2}{dt} \right)^2 = \text{const},$$

$$\cos^2(\zeta + \zeta_1) + \cos^2(\zeta + \zeta_2) = \text{const}_2.$$

Последнее справедливо при условии:

$$\zeta_1 - \zeta_2 = \pm \pi/2.$$

Полученное соотношение позволяет определить связующее звено между инертными элементами. Таким звеном является устройство, изображенное на рисунке.

**Анализ биинертной системы.** Внешние усилия к грузам не приложены. Масса промежуточного стержня и трение не учитываются. Координаты грузов соответствуют уравнениям:

$$x_1 = l \cos \varphi, \tag{1}$$

$$x_2 = l \cos(\pi/2 - \varphi). \tag{2}$$

В качестве обобщенной координаты удобно использовать  $\varphi$ . Система имеет одну степень свободы и уравнение Лагранжа второго рода для нее записывается в виде:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q.$$

Обобщенная сила  $Q = 0$ , поскольку активные силы отсутствуют. Кинетическая энергия определяется выражением:

$$T = \frac{m}{2} \left( \frac{dx_1}{dt} \right)^2 + \frac{m}{2} \left( \frac{dx_2}{dt} \right)^2 = \frac{ml^2}{2} \sin^2 \varphi \dot{\varphi}^2 + \frac{ml^2}{2} \cos^2 \varphi \dot{\varphi}^2 = \frac{ml^2}{2} \dot{\varphi}^2.$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = ml^2 \dot{\varphi}, \quad \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) = ml^2 \ddot{\varphi} = 0.$$

Решение последнего уравнения имеет вид:

$$d\varphi/dt = C_1, \quad \varphi = C_1 t + C_2.$$

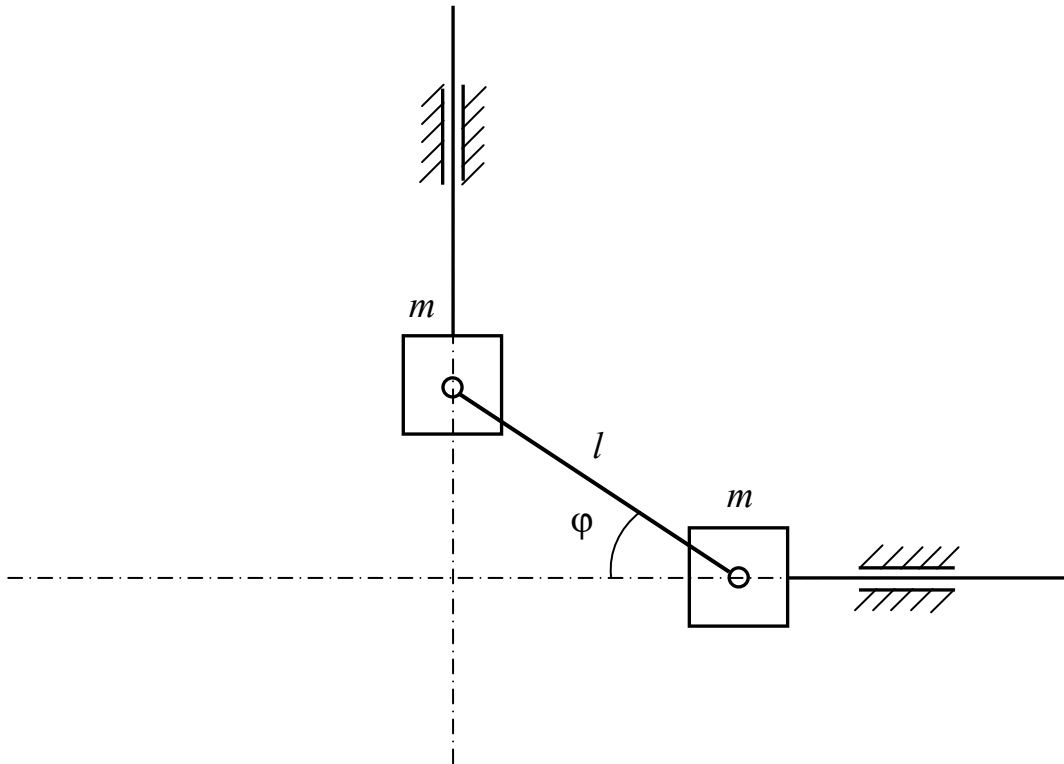


Рис. Биинертный осциллятор

Пусть имеют место следующие начальные условия:

$$\varphi(0) = \varphi_0, \quad \frac{d\varphi}{dt}(0) = \omega_0.$$

Коэффициенты интегрирования приобретают значения:

$$C_2 = \varphi_0, \quad C_1 = \omega_0.$$

При этом (1) и (2) принимают вид:

$$x_1 = l \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \\ x_2 = l \cos(\pi/2 - \omega_0 t - \varphi_0).$$

Пусть начальная координата первого груза равна

$$x_1(0) = x_{10}.$$

Из этого следуют формулы:

$$\cos \varphi_0 = x_{10}/l, \quad \varphi_0 = \arccos(x_{10}/l) = \arcsin(x_{20}/l).$$

Пусть начальная скорость второго груза равна

$$\frac{dx_2}{dt}(0) = v_{20}.$$

Из этого следуют выражения:

$$l\omega_0 \cos(\omega_0 \cdot 0 + \varphi_0) = v_{20}, \\ \omega_0 = v_{20}/x_{10} = -v_{10}/x_{20}.$$

В соответствии с этим формулы для перемещений грузов и их скоростей принимают вид:

$$x_1 = l \cos[(v_{20}/x_{10})t + \arccos(x_{10}/l)], \\ x_2 = l \cos[\pi/2 - (-v_{10}/x_{20})t - \arcsin(x_{20}/l)], \\ v_1 = l(v_{10}/x_{20}) \sin[(-v_{10}/x_{20})t + \arcsin(x_{10}/l)], \\ v_2 = l(v_{20}/x_{10}) \cos[(v_{20}/x_{10})t + \arccos(x_{20}/l)].$$

Таким образом, грузы массой  $m$  совершают свободные гармонические колебания (внешние усилия к грузам не приложены).

В рассмотренной колебательной системе происходит взаимный обмен кинетической энергией между инертными элементами [10]. При  $\varphi = 0$  кинетическая энергия первого груза равна нулю, а второго – максимальна. После этого первый груз начинает ускоряться за счет энергии второго груза, который приобретает отрицательное ускорение.

Приведенная методика позволяет определить основные механические и энергетические характеристики бинарного осциллятора.

К недостаткам подобной системы следует отнести большие механические потери внутри системы. Однако при использовании больших масс грузов их величина будет не так значительна.

## Литература

1. Попов, И. П. Упруго-индуктивный осциллятор // Российский научный журнал. – 2013. – № 1 (32). – С. 269–270.
2. Условия возникновения упруго-емкостных колебаний в электромеханических системах / И. П. Попов, В. И. Чарыков, С. А. Соколов, Д. П. Попов // Вестник Курганской ГСХА. – 2014. – № 3 (11). – С. 80–82.
3. Попов, И. П. Инертно-индуктивный осциллятор / И. П. Попов, Ф. Н. Сарапулов, С. Ф. Сарапулов // Вестник Курганского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 2 (29). – Вып. 8. – С. 80–81.
4. Анализ нелинейной динамики процесса много-резцового точения «по следу» / Гуськов А. М., Гуськов М. А., Динь Дык Тунг, Пановко Г. Я. // Машиностроение и инженерное образование. – 2018. – № 2 (55). – С. 9–16.

5. Царенко, С. Н. Крутильные колебания стержневых конструкций с осевой неоднородностью геометрических характеристик / С. Н. Царенко. – DOI: 10.14529/mmph190107 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. – 2019. – Т. 11, № 1. – С. 50–58.

6. Попов, И. П. Самобалансировка вибрационных механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2018. – № 2 (2). – С. 16–19.

7. Попов, И. П. Исследование резонансов в технических системах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 2 (4). – С. 15–18.

8. Попов, И. П. Диссипативная, реактивная и полная мощности виброприводов машин / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 3(5). – С. 72–74.

9. Буланчук, П. О. Вибрационная энергия и управление маятниковыми системами / П. О. Буланчук, А. Г. Петров // ПММ. – 2012. – Т. 76, вып. 4. – С. 550–562.

10. Попов, И. П. Механическая мощность при колебательных технологических операциях / И. П. Попов // Вестник Псковского государственного университета. Технические науки. – 2015. – Вып. 2. – С. 15–18.

*I.P. Popov*

## **TWO CARGO INERT OSCILLATORY SYSTEM FOR VIBRATION MECHANISMS**

The description of an oscillatory mechanism with homogeneous elements, namely, with two massive loads (biinert oscillator) is given. The description of a method for calculating a binary oscillator is given. A possible kinematic diagram of the oscillatory mechanism with the possibility of harmonic oscillations is presented.

Oscillator, inert, harmonic, reactivity, spatial shift, phase shift, kinetic energy.



## КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА КОМПАКТНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГИДРОТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ТИХОХОДНЫХ МАШИН

В статье представлено кинематическое описание схемы и функциональное описание многофункционального гидротрансформатора, который может использоваться в самоходных тихоходных машинах. Отличительной особенностью предлагаемой кинематической схемы является максимальное использование возможностей автотракторных гидротрансформаторов. Предлагаются схематические решения для гидромеханической передачи с одноступенчатым гидротрансформатором без многоступенчатой коробки передач.

Тихоходная машина, кинематическая схема, трансмиссия, гидромеханическая передача, гидротрансформатор.

В настоящее время в трансмиссиях многих тихоходных колесных и гусеничных машин с ДВС применяются гидромеханические передачи (ГМП), которые содержат последовательно соединенные гидродинамический трансформатор вращающего момента (далее – гидротрансформатор) и механическую ступенчатую коробку передач с гидравлическим управлением [1]. Положительные свойства гидротрансформаторов наиболее полно проявляются в транспортных и технологических машинах, работающих с переменными нагрузками в неблагоприятных дорожных условиях и вне дорог. ГМП обеспечивают передачу больших потоков энергии, высокую производительность машин, легкое и удобное управление трансмиссией со стороны оператора [2]. В связи с ростом выпуска погрузочно-транспортных и строительно-дорожных машин соответственно возрастает и объем производства гидротрансформаторов и ГМП для этого вида техники.

Общим недостатком автотракторных ГМП является относительно небольшой диапазон бесступенчатого регулирования вращающего момента двигателя, обусловленный ограниченными преобразующими свойствами серийных одноступенчатых гидротрансформаторов с тремя или четырьмя рабочими колесами. Коэффициент трансформации вращающего момента для таких гидротрансформаторов обычно находится в диапазоне 2–3. Классические трехколесные гидротрансформаторы комплексного типа характеризуются простотой конструкции и низкой стоимостью, и поэтому широко применяются, несмотря на свои недостатки. Чтобы компенсировать недостаточные преобразующие свойства одноступенчатых гидротрансформаторов при проектировании коробок передач для ГМП, конструкторам приходится увеличивать число механических ступеней [3]. Однако увеличение количества ступеней в коробках передач ГМП имеет свои разумные пределы. Усложняется механическая часть коробок передач, пропорционально усложняется система управления трансмиссией, ухудшается коэффициент полезного действия (КПД) трансмиссии вследствие увеличения отбора мощности двигателя на осуществление функций управления [4].

Одним из способов повышения эффективности ГМП является использование режима обратного (относительно направления вращения насосного и турбинного колес) вращения реактора гидротрансформатора. В традиционных комплексных гидротрансформаторах на режиме трансформации вращающего момента реактор неподвижен и свободно вращается в потоке рабочей жидкости в направлении вращения насосного и турбинного колес на режиме гидромукты.

Первым техническим решением по практическому использованию обратного вращения реактора гидротрансформатора стало изобретение инженера Карла Густава Ахлена (Karl Gustav Ahlen) из шведской компании Svenska Rotor Maskiner AB (SRM). В передачах SRM были реализованы различные конструкции гидротрансформаторов и управляющих устройств, ориентированные на достижение высоких эксплуатационных свойств самоходных машин [5]. ГМП SRM предназначалась для тяжелых грузовых автомобилей и тягачей – они неоднократно были рассмотрены в отечественной технической литературе.

В ГМП SRM реактор гидротрансформатора через планетарную передачу соединен с выходным валом ГМП и при низких угловых скоростях турбинного колеса вращается в сторону, обратную вращению насосного колеса. Такой режим работы гидротрансформатора позволяет получить большой вращающий момент на турбинном колесе в зоне малых передаточных отношений гидротрансформатора (от 0 до 0,4). Вращающийся в обратную сторону реактор гидротрансформатора ГМП SRM подобен еще одному турбинному колесу гидротрансформатора, вращающий момент от которого суммируется с моментом главного турбинного колеса с помощью планетарного механизма на ведомом валу. В результате в диапазоне малых передаточных отношений гидротрансформатора вращающий момент двигателя резко увеличивается в 8–10 раз.

Вторым способом использования обратного вращения реактора в автотракторном гидротрансформаторе является осуществление режима заднего хода в трансмиссии самоходной машины. Если в гидродинамическом трансформаторе остановить турбинное ко-

лесо и одновременно освободить реактор, то реактор будет вращаться в сторону, противоположную направлению вращения насосного колеса. В этом случае неподвижное турбинное колесо играет роль реактора, вращающийся реактор – турбинного колеса. Однако при этом коэффициент трансформации вращающего момента уменьшается на единицу. В частности, такой эффект был использован в ГМП легкового автомобиля Buick Special. Аналогичное решение было реализовано и в ГМП компании Маск для городских автобусов. Поскольку режим заднего хода для большинства самоходных машин является непродолжительным, то кратковременное инвертирование функций турбинного колеса и реактора в гидротрансформаторе может дать положительный эффект и для ГМП колесных погрузчиков.

На рисунках 1 и 2 представлены принципиальные кинематические схемы двух вариантов исполнения ГМП для трансмиссии самоходной машины, в которой обратное вращение реактора гидротрансформатора используется на режимах и переднего, и заднего ходов, а также на режиме динамического торможения [6, 7]. В рассматриваемой ГМП возможно использование унифицированных трехколесных и четырехколесных одноступенчатых комплексных гидротрансформаторов с литыми рабочими колесами, например гидротрансформаторы типа ГТ-390, ГТ-543 и другие аналогичные.

Указанные комплексные гидротрансформаторы имеют насосное колесо центробежного типа и турбинное колесо центростремительного типа, обеспечивающие эффективную работу на режиме гидромукты. Четырехколесные унифицированные гидротрансформаторы типа ЛГ и ГТ применяются в ГМП городских автобусов, карьерных самосвалов, колесных ковшевых и вилочных погрузчиков, автогрейдеров, тракторов и бульдозеров, самоходных скреперов, маневровых тепловозов и других машин специального назначения.

Первый вариант кинематической схемы (рис. 1) предусматривает несоосное соединение двигателя и ГМП, а сопряжение ГМП с последующими агрегатами трансмиссии является соосным. Альтернативная принципиальная кинематическая схема ГМП (рис. 2) предусматривает соосное сопряжение двигателя и ГМП и несоосное сопряжение с последующими агрегатами трансмиссии. Выходной вал ГМП в трансмиссии полноприводной колесной машины соединяется, как правило, с раздаточной коробкой.

Независимо от варианта исполнения ГМП содержит размещенные в корпусе 1 одноступенчатый гидротрансформатор 2 с реактором 3 зависимого вращения. Насос 4 и турбина гидротрансформатора соединены соответственно с входным валом 6 и выходным валом 7.

ГМП содержит также трехзвенный планетарный механизм 8, содержащий водило 9 с сателлитами 10, солнечную шестерню 11 и коронную шестерню 12. Реактор 3 при помощи полого вала 13 соединяется с солнечной шестерней 11. Для управления ГМП предназначены четыре тормоза 14, 15, 16, 17 и три управляемые сцепные муфты 18, 19, 20. Тормоз 15 останавливает вал 13, тормоз 17 останавливает коронную шестерню 12, тормоз 14 останавливает турбинное колесо 2, а тормоз 19 – водило 9. Муфта 18 соединяет турбинное колесо 5 с выходным валом 7, муфта 19 соединяет с водилом 9 турбинное колесо 5, а муфта 20 соединяет коронную шестерню 12 с выходным валом 7. Реакторное колесо 3 соединяется с валом 13 посредством механизма свободного хода 21. В случае использования трехколесного гидротрансформатора реактор 22 и соответствующий ему механизм свободного хода 23 отсутствуют. Муфта 24 предназначена для блокировки гидротрансформатора. В исходном состоянии ГМП все тормоза выключены, а муфты разомкнуты.

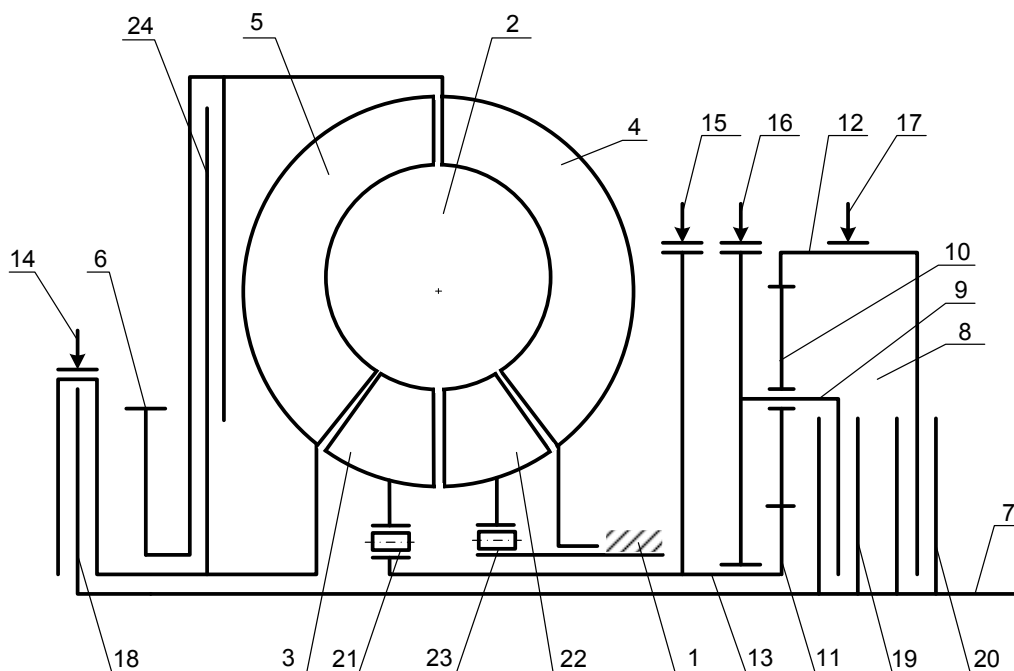


Рис. 1. Принципиальная кинематическая схема первого варианта ГМП



Таблица состояний элементов управления ГМП

Режим работы	Тормоз 14	Тормоз 15	Тормоз 16	Тормоз 17	Муфта 18	Муфта 19	Муфта 20
Передний ход I	–	–	+	–	+	–	+
Передний ход II	–	+	–	–	+	–	–
Задний ход	+	–	–	+	–	+	–
Динамическое торможение	–	–	–	+	+	+	–

В таблице приведены состояния элементов управления ГМП. Знак «+» обозначает включенное состояние соответствующей муфты или тормоза, а знак «–» – выключенное состояние. Таким образом, рассматриваемая ГМП представляет собой механизм с четырьмя степенями свободы, требующий одновременного включения трех элементов управления.

Схематехника рассматриваемых ГМП сочетает в себе свойства и однопоточных, и двухпоточных передач. Двухпоточный режим проявляется при обратном вращении реактора вследствие разделения потока мощности внутри гидротрансформатора; при этом имеют место повышенные значения коэффициента трансформации и КПД передачи в диапазоне малых передаточных отношений, когда трансмиссия самоходной машины испытывает высокие нагрузки (например, при заборе грунта ковшом погрузчика). Однопоточная работа ГМП происходит в условиях относительно невысоких нагрузок на трансмиссию самоходной машины, когда на режиме переднего хода реактор гидротрансформатора неподвижен, а также на режиме заднего хода. При однопоточной работе ГМП на режиме переднего хода повышенные значения КПД достигаются в диапазоне больших передаточных отношений. Как результат, комбинирование режимов работы ГМП способствует повышению среднего КПД трансмиссии самоходной машины по сравнению с трансмиссией, оснащенной традиционной ГМП с одноступенчатым гидротрансформатором, обеспечивая при этом высокие преобразующие свойства в зоне малых передаточных отношений.

По сравнению с базовыми ГМП, оснащенными одноступенчатыми гидротрансформаторами одинакового типоразмера, рассматриваемая передача имеет более компактную конструкцию. При этом максимальное значение коэффициента трансформации вращающего момента двигателя при нулевом передаточном отношении больше максимального коэффици-

ента трансформации исходного четырехколесного гидротрансформатора. Практическая реализация предлагаемого проекта позволит расширить эксплуатационные возможности самоходной машины, а также упростить ее трансмиссию в целом за счет более полного использования возможностей гидротрансформатора и планетарного механизма на всех режимах работы ГМП.

### Литература

1. Микнас, В. Автомобильные сцепления, трансмиссии, приводы / В. Микнас, Р. Попиоль, А. Шпренгер. – Москва : ООО Книжное издательство За рулем, 2012. – 351 с.
2. Базанов, А. Ф. Самоходные погрузчики / А. Ф. Базанов, Г. В. Забегалов – Москва : Машиностроение, 1979. – 416 с.
3. Трансмиссии гусеничных и колесных машин / В. М. Труханов [и др.]. – Москва : Машиностроение, 2001. – 736 с.
4. Трушин, Н. Н. Конструкторско-технологические тренды в коммерческом автотранспорте / Н. Н. Трушин // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. – Белгород : БГТУ, 2019. – С. 282–288.
5. Патент № 2935898. Hydraulic torque converters : опубл. 10.05.1960 / AhlenK. G ; заявитель Svenska Rotor Maskener Ab.
6. Патент № 1756179 СССР. Гидромеханическая передача транспортного средства : заявл. 09.08.1990 : опубл. : 23.08.1992, бюл. № 31 / Трушин Н. Н., Стебловский К. Д ; заявитель и патентообладатель Тульский политехнический институт.
7. Патент № 2695471 Российская Федерация. Гидромеханическая передача транспортного средства : заявл. 28.06.2018 : опубл. 23.07.2019, бюл. № 21 / Трушин Н. Н. ; заявитель и патентообладатель ТулГУ.

*A.V. Plyasov, N.N. Trushin*

### KINEMATIC DIAGRAM OF A COMPACT MULTIFUNCTIONAL HYDRAULIC TRANSFORMER FOR LOW-SPEED VEHICLES

The article provides a description of the kinematic scheme and a functional description of the multifunctional torque converter which can be used in self-propelled low-speed vehicles. A distinctive feature of the proposed kinematic scheme is the maximum use of the capabilities of autotractor torque converters. Circuitry solutions for hydromechanical transmission with a single-stage torque converter without a multi-stage gearbox are proposed.

Low-speed vehicle, kinematic scheme, transmission, hydromechanical transmission, torque converter.



## **ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

В статье представлены примеры использования современных инструментов виртуальной и дополненной реальности с анализом возможности их применения на машиностроительных предприятиях Вологодской области. Результатом исследования является методика применения 3D-конструкторской документации предприятий для повышения уровня безопасности производственных процессов. Работа велась в рамках выполнения государственного научного гранта Вологодской области.

Виртуальная и дополненная реальность, производственные процессы, технология машиностроения, САПР, состав изделия, инверсная кинематика.

Виртуальная реальность (virtual reality, VR) и дополненная реальность (augmented reality, AR) представляют собой модель реальности, созданную техническими средствами, объекты и субъекты которой воспринимаются человеком через его ощущения: зрение, слух, обоняние, осязание. В настоящее время технологии VR/AR разрабатываются и могут применяться практически во всех сферах деятельности человека: образовании, науке и технике, медицине, строительстве и архитектуре, маркетинге и рекламе. Бурное развитие технологий VR/AR характерно для индустрии развлечений, однако огромный потенциал они имеют для науки, образования, промышленности и медицины. Первыми стали применять VR/AR для повышения уровня безопасности в атомной энергетике при обслуживании «горячей зоны» реакторов, т.к. находиться там даже в специальной экипировке можно было ограниченное время. Анализ действий специалиста в виртуальной реальности позволял оптимизировать сценарий действий и снизить риски.

Актуальность и значимость работы для Вологодской области подтверждается теми задачами, которые определены в Стратегии социально-экономического развития Вологодской области на период до 2030 года: создание условий для разработки и развития приоритетных направлений развития науки и техники, перспективных и критических технологий в целях перевода промышленности региона в стадию шестого технологического уклада; развитие рынков высокотехнологичных и наукоемких услуг; создание сети цифровых платформ для проведения исследований и разработок в области цифровой экономики.

На сегодняшний день технологии VR/AR стали источником технологических возможностей и способствуют не только созданию концептуально новых рынков, но и расширению уже имеющихся [4].

Модель смешанной (гибридной) реальности, или континуума реальности-виртуальности, впервые описана в 1994 году [2]. Принципиальное различие между виртуальной и дополненной реальностями

состоит в том, что виртуальная реальность конструирует цифровой мир, полностью ограничивая доступ пользователя к реальному миру, а дополненная реальность лишь добавляет элементы цифрового мира в реальный, видоизменяя пространство вокруг пользователя.

В человеческом мозге нейроны реагируют на виртуальные элементы так же, как и на элементы реального мира. Поэтому человек воспринимает виртуальную среду и реагирует на происходящее внутри виртуального мира точно так же, как на события имеющее место в реальности [1].

Применение технологий VR позволяет при разработке новой продукции максимально исключить дорогостоящие операции по созданию физического макета, особенно в натуральную величину, всесторонне проанализировать вопросы эргономики будущего объекта, оценить компоновку входящих в него узлов и деталей. Немаловажным аспектом при проектировании нового изделия является также дизайн и эстетические характеристики формы и содержания продукта. Решение перечисленных выше задач с применением VR позволяет максимально эффективно и быстро обеспечить выпуск новой продукции.

В технологической подготовке производства наибольшее значение приобретает другая технология: использование контента и оборудования дополненной реальности позволяет разрабатывать технологические инструкции, максимально приближенные к реальному процессу изготовления и сборки изделия. К окружающей действительности (комплект деталей сборки, оснастка, оборудование) добавляется информация, иллюстрирующая (моделирующая) технологические операции над реальными объектами.

Применение в системах VR/AR инверсивной кинематики применительно к пользователю, с полным контролем положения всех органов человеческого тела, с использованием систем трекинга, позволяет выйти на новый уровень подготовки и управления производственными процессами.

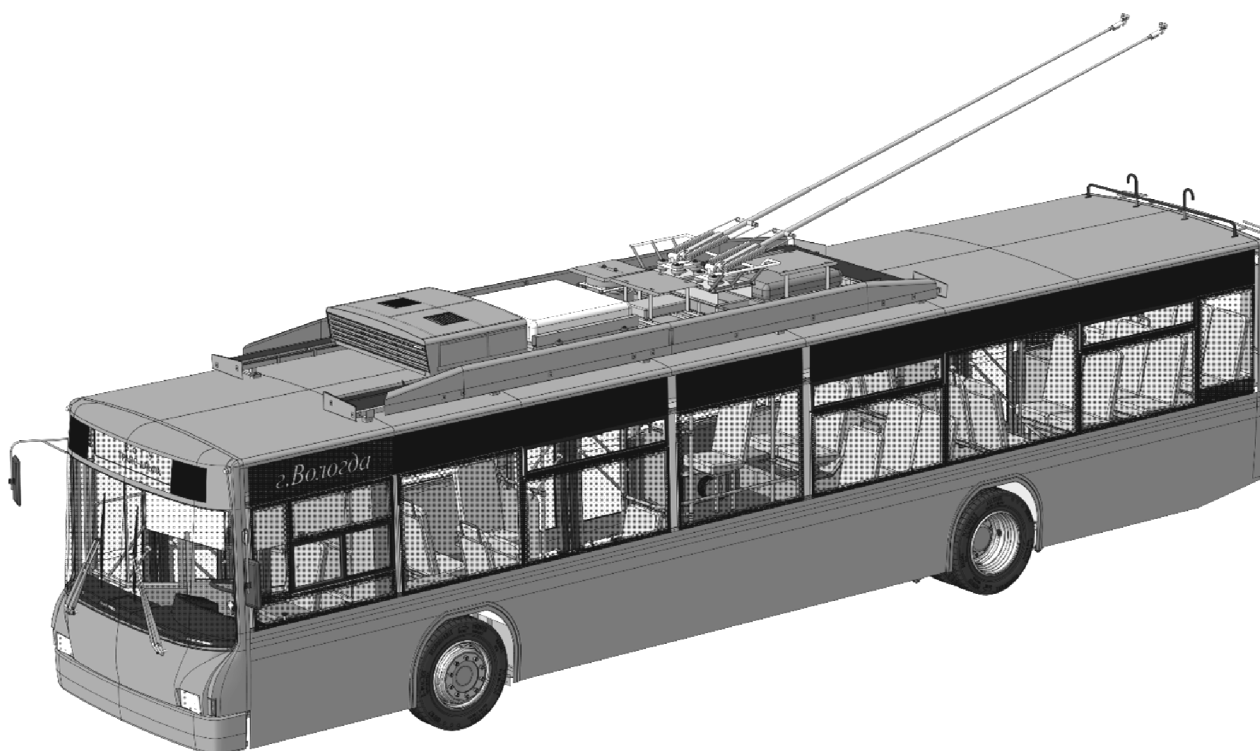


Рис. 1. Цифровая модель макета троллейбуса АО Транс-Альфа

Машиностроительные предприятия Вологодской области последовательно реализуют внедрение цифровых технологий на основе САПР продуктов [3]. Комплексное применение идеологии CAD/CAM/CAPP/CAE находится в стадии становления, но отдельные компоненты процесса нашли широкое применение на предприятиях всех уровней. Накопленный опыт и рост компетенций позволяют говорить о необходимости перехода к освоению новых цифровых технологий, в частности таких, как виртуальная и дополненная реальность.

Методика, предложенная в данной статье, базируется на предположении о том, что на предприятиях машиностроительной отрасли подготовка производства начинается с компьютерного моделирования будущего изделия. На рисунке 1 представлен макет троллейбуса. В системах автоматизированного проектирования разрабатывается цифровой макет, состоящий из деталей и узлов. Помимо использования информационной 3D-модели цифрового макета для разработки конструкторской и технологической документации традиционно в 2D-формате, можно использовать цифровой макет в специальном программном обеспечении для взаимодействия с ним в VR/AR. Многие современные системы автоматизированного проектирования уже предлагают такие инструменты. Также можно воспользоваться сторонними инструментами.

Разработчики отечественных систем САПР, такие как ТОП Системы (T-FLEX CAD) и компания АСКОН (Компас-3D), пошли каждый своим путем. В систему T-FLEX CAD с 2016 года интегрирован модуль VR/AR-приложения, который по заявлениям разработчиков позволяет не только просматривать объект производства, но и выполнять процедуры про-

ектирования не выходя из VR. Компания же АСКОН поддержала разработчика приложения VRConcept, заключив с ним договор о сотрудничестве и позволив использовать для виртуального моделирования математический аппарат геометрического ядра собственной разработки C3D.

Для импорта в VRConcept можно использовать специальный формат файлов 3D-моделей из Компас-3D (тип файлов с расширением c3d) от компании АСКОН. Этот формат оказался очень удачным. Даже большие 3D-сборки, состоящие из нескольких тысяч моделей, импортируются в VRConcept в очень компактном и легком размере для дальнейшего манипулирования в VR/AR. На рисунке 2 изображен салон троллейбуса, импортированный в VRConcept из Компас-3D. Пользователь VRconcept, находясь в виртуальной реальности и взаимодействуя с объектом 3D, получает самое точное представление о степени проработанности изделия, может снять размеры интересующих объектов, исследовать неточности построения и сборки изделия.

Еще более интересным объектом в изучении стал блок-трансформер, спроектированный инженеринговым центром ВоГУ (рис. 3) в сотрудничестве с предприятием АО «СКДМ».

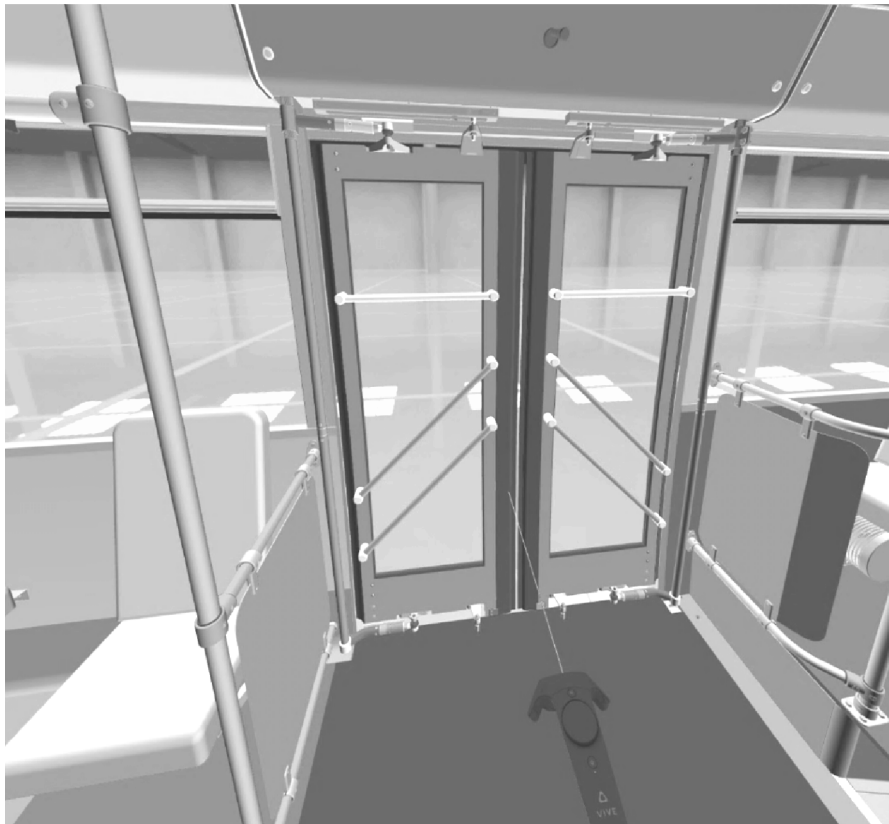
На рисунке 4 представлен вид модели в виртуальной реальности. На рисунке 5 представлен кадр открывания пользователем двери блок-трансформера.

Отличительная особенность данного блок-трансформера заключается в механизме трансформации изделия из транспортного положения в эксплуатационное.

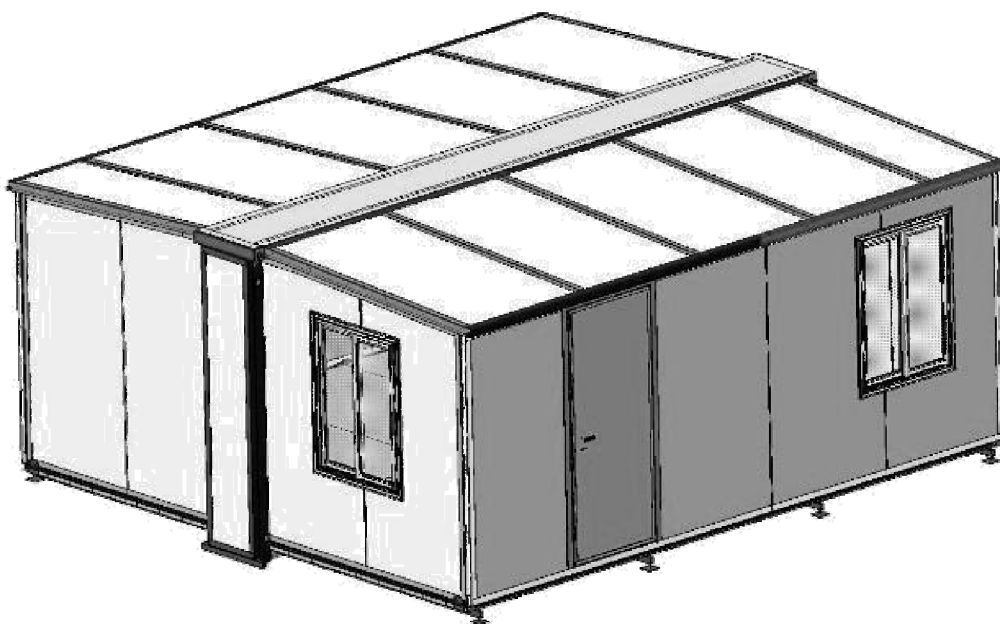
Все панели блока: крыша, стены и пол закреплены на основании шарнирно и сборка/разборка домика происходит с минимумом техники и без специального

оборудования. В виртуальной реальности появляется прекрасная возможность отработать все нюансы операции сборки, а также демонтажа здания еще на стадии проектирования. При традиционных способах проектирования, а также применении только штатных средств 3D-моделирования, с учетом того, что про-

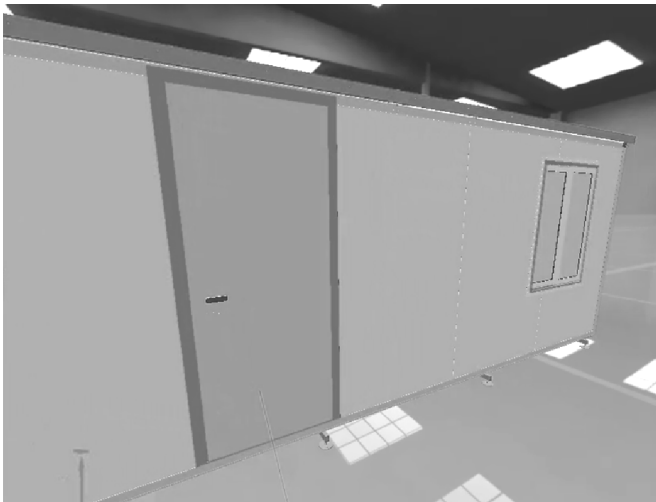
странственно конструкция изделия сильно меняется в разных состояниях, нельзя быть уверенным, что все особенности учтены и при сборке/разборке изделия уже на этапе изготовления не придется исправлять конструктивные ошибки.



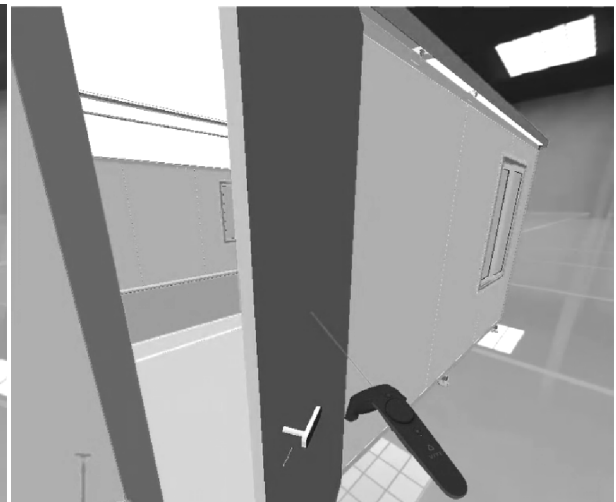
*Рис. 2. Модель макета троллейбуса в VR.  
В центре виртуальное представление контроллера HTC Vive Pro  
для взаимодействия с VR контентом*



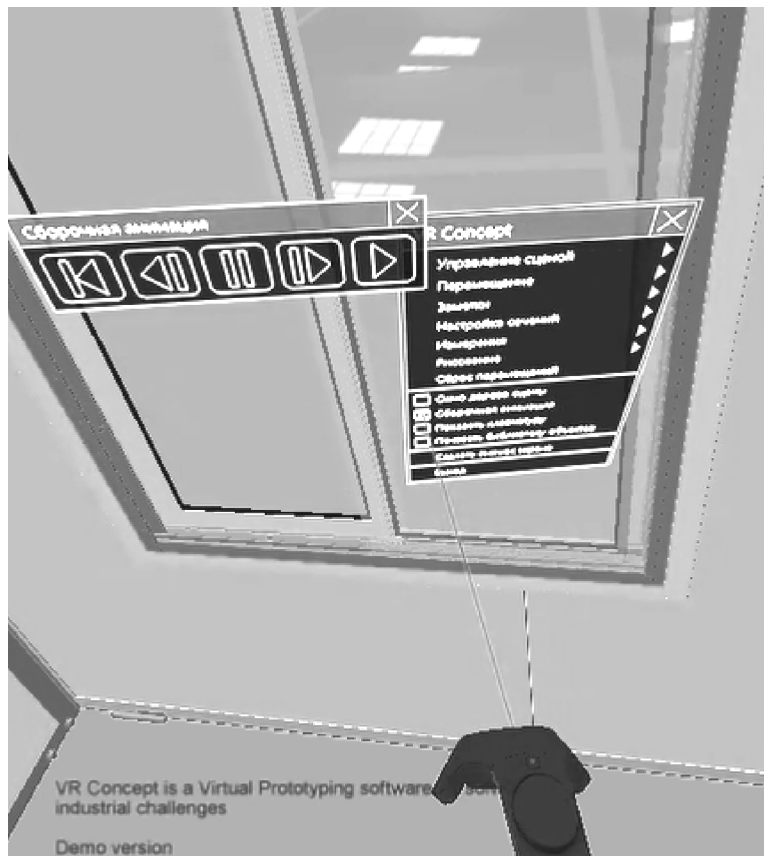
*Рис. 3. Цифровая модель макета блок-трансформера*



*Рис. 4. Вид цифровой модели макета блок-трансформера в VR*



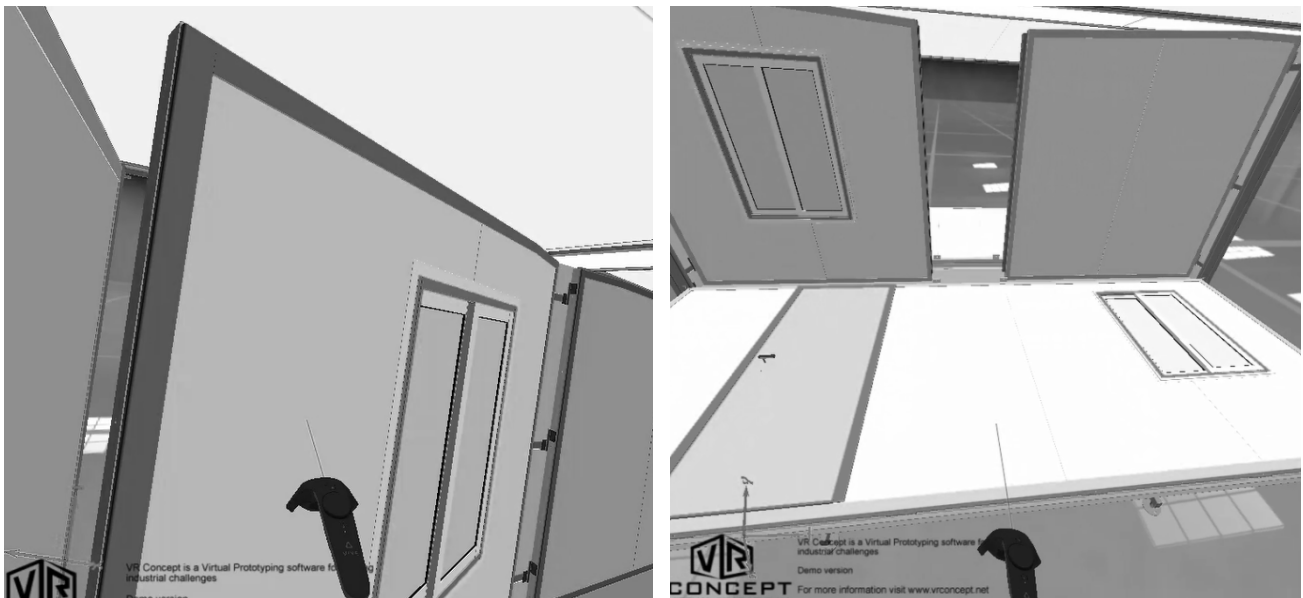
*Рис. 5. Использование виртуального контроллера HTC Vive Pro для открытия двери блок-трансформера в VR*



*Рис. 6. Использование виртуального контроллера HTC Vive Pro для анимации открывания сдвижного окна блок-трансформера в VR*

Возможность оценить будущее изделие максимально приближенно к условиям реального мира, которая предоставляется виртуальной реальностью, безусловно повышает не только качество продукта, но и уровень безопасности производственных процессов. Появляется уникальная возможность отработать все элементы технологии изготовления и сборки изделия. Иллюстрация операции анимации открывания окна в блоке представлена на рисунке 6.

Процесс сворачивания стеновых панелей блок-трансформера иллюстрирует рисунок 7. Пользователь максимально приближенно к реальности взаимодействует с объектом, контролируя в процессе все нюансы: наличие препятствий, точность перемещения, трудности с доступом к отдельным деталям и узлам.



*Рис. 7. Использование виртуального контроллера HTC Vive Pro для имитации процесса сворачивания стеновых панелей*



*Рис. 8. Вид из кабины козлового крана в VR*

В качестве объектов виртуальной реальности могут выступать самые разные предметы. Например, модель козлового крана предприятия «КранСтрой-Монтаж» (рис. 8). Для учета всех эргономичных параметров рабочего места машиниста козлового крана можно «заглянуть» в кабину крана.

Для реалистичности объект размещается на фоне естественного ландшафта, задаются особенности освещенности площадки. Можно оценить удобство размещения объектов управления, обзор строительной площадки из кабины крана, учесть все особенности маршрута машиниста к его рабочему месту.

В заключение можно сказать, что технологии виртуальной и дополненной реальности уже на данном этапе развития производственных процессов машиностроительных предприятий Вологодской области могут

с успехом применяться для повышения качества продукции, снижения сроков подготовки производства и повышения уровня безопасности процессов. Одним из главных условий применения VR/AR в производственных процессах является подробное геометрическое описание как собственно самого объекта производства, так и окружающей обстановки. Практически на всех машиностроительных предприятиях Вологодской области имеется банк данных 3D-описаний производимой продукции. Совместно с применением технологий получения пространственных моделей производственных площадок, например с помощью технологий 3D-сканирования, можно говорить о наличии главных факторов успешного применения инструментов виртуальной и дополненной реальности.

В ходе работы были достигнуты следующие научно-практические результаты:

1. Проведена предварительная оценка производственных процессов машиностроительных предприятий Вологодской области с точки зрения применимости VR/AR.

2. Разработана методика создания базы необходимого контента VR/AR для описания производственных процессов предприятий.

#### **Литература**

1. LaValle, S. M. *Virtual Reality* / S. M. LaValle. – University of Illinois. [S. l.]: Cambridge University Press. – 2017. – 418 p. – URL: <http://vr.cs.uiuc.edu/vrbook.pdf> (дата обращения: 04.02.2020).

2. Milgram, P. A Taxonomy of mixed reality visual Displays / P. Milgram, F. Kishino // *IEICE Transactions on Information and Systems*. Vol E77-D. – 1994. – № 12. – P. 1321–1329.

3. Булавин, В. Ф. Политика цифровых технологий на малых машиностроительных предприятиях / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев, А. С. Степанов. – DOI: 10.18698/0536-1044-2019-9-35-45 // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2019. – № 9. – С. 35–45.

4. Трачук, А. В. Инновации и производительность российских промышленных компаний / А. В. Трачук, Н. В. Линдер // *Инновации*. – 2017. – № 4 (222). – С. 53–65.

*V.V. Yakhrichev*

### **IMPROVEMENT OF THE SAFETY LEVEL OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTION PROCESSES BY VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY**

The article presents examples of the use of virtual and augmented reality (VR/AR) tools with an analysis of the possibility of their use in engineering enterprises of Vologda region. The result of the study is the methodology for using 3d design documentation of enterprises to increase the level of production processes safety. The work is the part of the state scientific grant of Vologda region.

Virtual and augmented reality, production processes, engineering technology, CAD, product composition, inverse kinematics.



*Е.М. Березовская, И.С. Мамичев*  
Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ПО РАБОТЕ С ТОВАРАМИ

Статья посвящена проектированию и разработке web-приложения по работе с товарами. Приложение дает возможность осуществлять покупку, продажу и обмен товаров. Разработанный программный продукт позволит повысить эффективность работы торговой компании и качество оказания услуг, сократить затраты на бумажные работы, обеспечить более рациональное использование денежного капитала компании. Приложение реализовано с использованием языков PHP, MySQL, HTML, CSS, JavaScript.

Web-приложение, онлайн-сервис, бизнес, интернет-магазин, эффективность, обработка запросов.

В настоящее время все успешные торговые компании должны иметь собственный интернет-магазин, который обеспечит информационную поддержку существующего бизнеса и увеличит уровень продаж. С помощью электронной торговли фирмы решают такие задачи, как представление компании в сети Интернет, расширение потенциальной аудитории потребителей, поддержка бренда, повышение узнаваемости, информирование общественности, увеличение уровня продаж и др.

Перед началом разработки были проанализированы существующие приложения по покупке, продаже и обмену товарами, размещенные в сети Интернет, по самым известным белорусским сайтам: kufar.by, onliner.by и tut.by. В процессе анализа были выявлены критерии, которым необходимо следовать при разработке собственного приложения по продаже. Сюда относятся удобство, функциональность (табл.), надежность.

Таблица

**Базовый функционал  
разрабатываемого приложения**

Функционал для обычного пользователя	Функционал для администраторов и авторизованных пользователей
Меню, постраничная навигация, формы обратной связи, лента записей, поиск по сайту, добавление товаров в корзину	Возможность регистрации и входа в административную панель, удобный текстовый редактор для добавления контента, личный кабинет, просмотр базовой статистики

Поскольку сайт onliner.by соответствует всем вышеуказанным критериям, то он был взят за основу при проектировании макета приложения.

Дизайн сайта является одним из важных аспектов, поэтому макет спроектирован таким образом, чтобы акцентировать внимание пользователя на необходимых для владельца сайта деталях. При хорошей визуальной структуре сайта пользователь сам дойдет до того места, которое стремится показать разработчик.

При проектировании макета использовался графический редактор Adobe Photoshop. Созданный документ делится на блоки с совершенно разной по содержанию информацией. На рисунке 1 видно, что таких частей в макете 4:

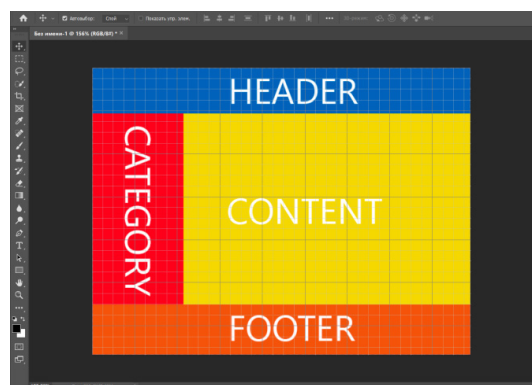


Рис. 1. Макет приложения

База данных для разрабатываемого web-приложения содержит девять основных сущностей: зарегистрированные пользователи, администраторы, категории товаров, товары, объявления на барахолке, корзина товаров, проданные товары, заказы, новости. Каждая из них содержит свои атрибуты определенного типа данных. Та часть приложения, которая взаимодействует с таблицами баз данных, написана на языке PHP [1]. Чтобы установить соединение с программой базы данных, используется функция `mysql_connect`. В качестве аргументов функции передаются имя хоста, имя базы данных, имя пользователя и пароль. В итоге возвращается объект, которым можно пользоваться в остальной части программы для обмена информацией с программой базы данных. В листинге 1 показано, как происходит подключение к базе данных в разработанном web-приложении. Функция `mysql_set_charset` используется для установки кодировки клиента.

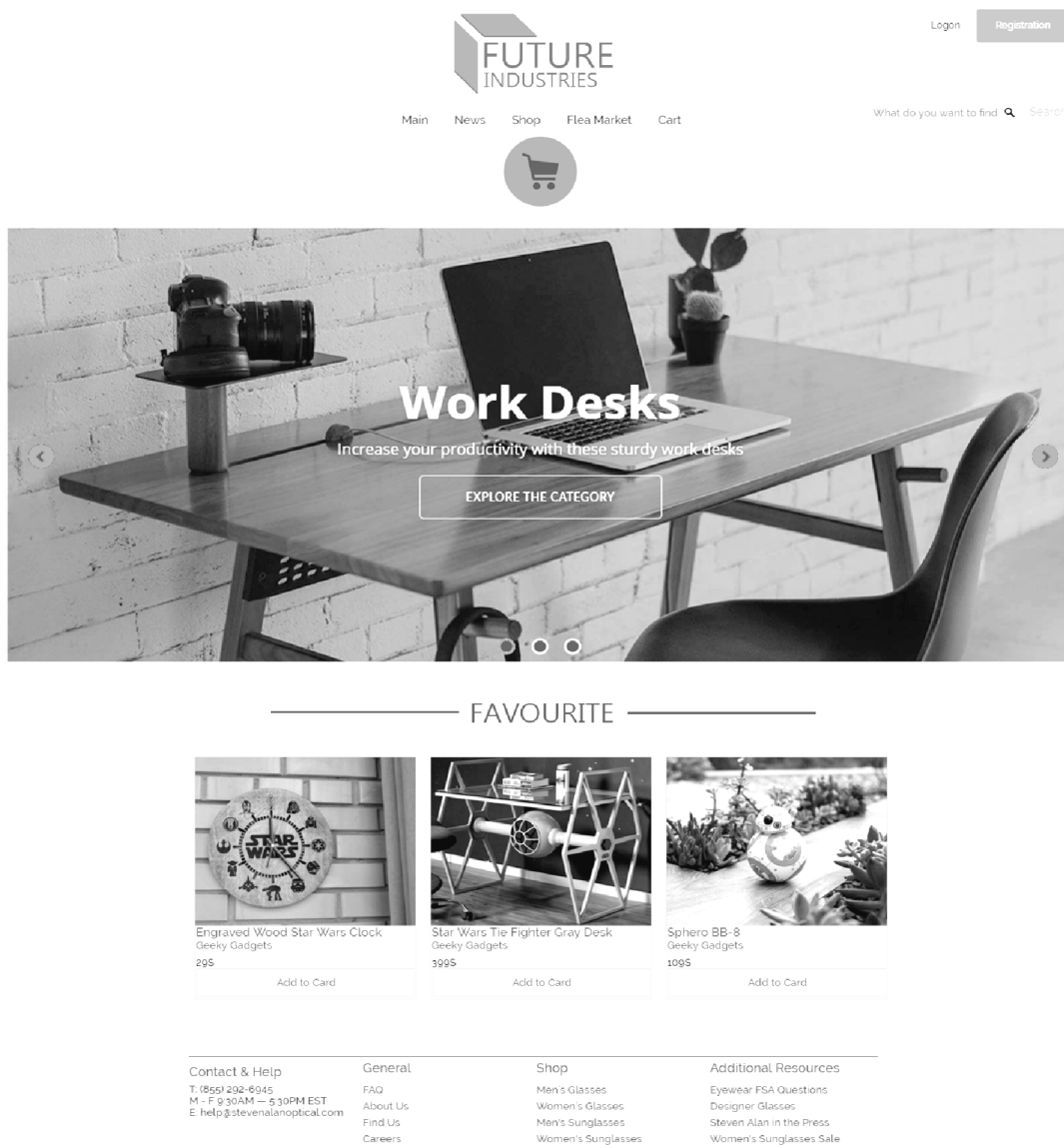


Рис. 2. Главная страница приложения

Листинг 1. Подключение к базе данных fishop\_db

```
<?php
    $host = 'localhost';
    $user = 'admin';
    $passwd = '*****';
    $db = 'fishop_db';
    $connection =
mysql_connect($host,$user,$passwd);
    mysql_set_charset('utf8', $connection);
    if (!$connection || !mysql_select_db($db, $con-
nection))
    {
        exit(mysql_error());
    }
?>
```

Подключение к базе данных fishop\_db вынесено в отдельный PHP-файл для многократного использования.

При открытии разработанного приложения пользователь попадает на его главную страницу, которая показана на рисунке 2. В самом верху располагается логотип магазина. В правом верхнем углу у пользователя есть возможность авторизоваться или зарегист-

рироваться. Под логотипом находится навигация и раздел для поиска. Данная навигационная панель располагается практически на каждой странице приложения, упрощая перемещение пользователя по сайту. Ниже располагается слайдер с рекомендуемыми разделами и товарами.

Как было показано на рисунке 1, страница была поделена на блоки header, category, content и footer. Все эти блоки вынесены в отдельные PHP-файлы.

У пользователя есть возможность войти в систему или зарегистрироваться. При нажатии на кнопку регистрации «Registration» пользователь попадет на страницу регистрации. На поля для ввода установлены ограничения, например, имя пользователя должно быть длиннее 3 символов и короче 15. Если пользователь введет значение поля, не соответствующее критериям, появится подсказка, изображенная на рисунке 3.



Рис. 3. Проверка значения

На поле с логином есть проверка его занятости. Значение, введенное в данное поле, отправляется в запрос, который ищет введенный логин в таблице зарегистрированных пользователей. Если пользователь с таким логином существует, придет ответ со значением «true». После этого на экране появится сообщение о том, что логин занят (рис. 4).

LOGIN:

\*  Login is busy!

Рис. 4. Проверка занятости логина

Как показано на рисунке 5, пользователь сам может сгенерировать себе пароль при нажатии на кнопку «Generate».

PASSWORD:

\*  [Generate](#)

Рис. 5. Генерация пароля

В нижней части страницы пользователю необходимо ввести код с картинке. Если пользователю не понятны символы на картинке, можно перезагрузить ее, нажав на кнопку «Reload».

После заполнения всех полей пользователю необходимо нажать на кнопку отправки формы «Registration». Если все поля введены правильно, он увидит сообщение об успешной регистрации, все поля для заполнения исчезнут, а информация о пользователе отправится в таблицу `reg_user` с помощью веб-форм для обмена данными. Отправка веб-формы реализована при помощи технологии AJAX (технология обращения к серверу без перезагрузки страницы).

После успешной регистрации пользователь может войти в систему. В правом верхнем углу страницы находится кнопка входа «Login». Как показано на рисунке 6, при нажатии на кнопку появится окно.

Login

Remember me

[Forgot your password?](#)

Рис. 6. Окно входа в систему

В этом окне необходимо ввести указанный логин или почтовый адрес и пароль. Если нажать на checkbox, то данный пользователь сохранится в cookie-файл и при следующем открытии браузера пользователь уже будет в системе. Иначе пользова-

тель будет в сети до конца текущей сессии. Далее необходимо нажать на кнопку входа «Login».

С помощью cookie-файла отдельный веб-клиент идентифицируется веб-сервером и интерпретатором PHP. Всякий раз, когда веб-клиент делает запрос, он посылает вместе с ним cookie-файл. Интерпретатор PHP читает этот файл и выясняет, что конкретный запрос поступил от того же самого веб-клиента, который посылал предыдущие запросы, которым сопутствовал тот же cookie-файл.

Данные сеанса хранятся в автоглобальном массиве `$_SESSION`. Для манипулирования данными сеанса достаточно прочитать и внести изменения в содержимое элементов массива `$_SESSION`. При создании сеанса массив `$_SESSION` пуст. Поэтому при авторизации массив заполняется значениями, взятыми из таблицы `reg_user`.

При успешном входе на всех страницах интернет-магазина вместо кнопок входа и регистрации будет отображаться иконка с фамилией и именем пользователя (рис. 7).

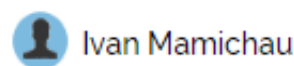


Рис. 7. Иконка пользователя

Если пользователь нажмет на вышеуказанный элемент, появится окно. В данном окне указаны ссылки на профиль пользователя, объявления, чаты, корзину и выход из системы. Данная форма показана на рисунке 8.

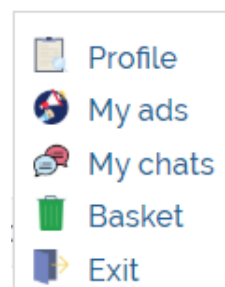


Рис. 8. Окно пользователя

Страница «Shop» является ключевой страницей разработанного web-приложения. Она представляет собой фотографию и описание товаров в плиточном варианте отображения на странице. С левой стороны страницы отображаются активные окна с категориями товаров.

При нажатии на какую-либо категорию блок Content обновляется и на странице отображается список всех доступных товаров, относящихся к выбранной категории. Вывод осуществляется постранично, по 16 товаров на странице, но также можно указать как больше, так и меньше товаров вывода на страницу.

Товары можно сортировать по различным критериям: цене, алфавиту, дате добавления и популярности.

Выбирая конкретный товар на странице каталога, покупатель переходит на страницу, отображающую подробную информацию о выбранном товаре: название товара, стоимость, описание и характеристики. Если одна из областей не была заполнена во время

добавления товара, тогда незаполненная секция будет скрыта. После добавления необходимых товаров в корзину необходимо перейти по ссылке корзины «Cart», расположенной в навигации или в окне пользователя. При открытии данной страницы отобразится информация обо всех товарах, находящихся в данный момент в корзине покупателя. На данной странице отображаются названия товаров, краткая информация о товаре, количество добавленных товаров в корзину, стоимость каждого товара, общая стоимость. Покупатель может добавить новые товары, изменить их количество, удалить лишние товары, очистить корзину.

После нажатия на кнопку оплаты «Pay» товар помечается, как «В обработке», и администратор может видеть его в списке приобретенных товаров. После обработки товара с покупателем свяжутся для дальнейшего обсуждения деталей по товару и доставке.

Также в разработанном приложении реализована проверка сессий, которая не позволяет входить на страницы добавления новых объявлений напрямую, указав путь к страницам добавления в адресной строке. В случае, если неавторизированный пользователь попытается зайти на запрещенные страницы, он будет перенаправлен на индексную страницу web-приложения.

У пользователя есть возможность просмотреть все ранее добавленные им объявления на странице «My ads». Ссылка на данную страницу находится в окне, которое появляется при нажатии на свое имя в верхней части экрана, изображенном на рисунке 8.

Для того чтобы просмотреть новости на сайте, нужно перейти по ссылке «News» в меню навигации. При нажатии на название новости произойдет переход на страницу с подробным описанием.

В данном web-приложении также разработана администраторская зона системы управления контентом. Администратор имеет доступ не только в пользовательскую часть приложения, но и в панель управления.

Основными задачами панели управления являются:

1. Добавление, редактирование, удаление товара.
2. Добавление, редактирование, удаление категорий товаров.
3. Добавление, редактирование, удаление новостей.
4. Обработка заказов и модерация сайта.
5. Сбор статистики по наиболее популярным категориям и товарам.

Для того чтобы войти в панель управления, нужно пройти аутентификацию. Администратору необходимо ввести выданные ему логин и пароль в полях «Login» и «Password». После успешной авторизации администратор попадает на главную страницу панели управления, где он может осуществлять действия, описанные выше.

После создания профиля программа может приступить к тестированию web-приложения. После его окончания на экран будет выведен итоговый отчет в виде графиков и таблиц. *В процессе тестирования безопасности приложения использовался сканер Wapiti.*

Для того чтобы разработанное web-приложение стало доступным в сети Интернет, был сделан сравнительный анализ нескольких провайдеров и впоследствии разработанное web-приложение было развернуто на российском хостинг-провайдере «Макхост».

С точки зрения практической значимости и возможности использования полученных результатов можно отметить следующее: разработанный программный продукт является хорошим web-приложением для покупки, продажи и обмена товарами.

При разработке использовались такие инструменты как Sublime Text 3, WinSCP, Adobe Photoshop, Denver, phpMyAdmin, Макхост, WAPT, технологии PHP, MySQL, HTML, CSS, JavaScript [2–3].

Приложение зарегистрировано и опубликовано в сети Интернет [4].

## Литература

1. Скляр, Д. Изучаем PHP: Руководство по созданию интерактивных веб-сайтов / Д. Скляр. – Санкт-Петербург : ООО «Альфа-книга», 2017. – 464 с.
2. Роббинс, Д. HTML5, CSS3 и JavaScript исчерпывающее руководство / Д. Роббинс. – Ульянов, 2014. – 528 с.
3. Никсон, Р. Создаем динамические веб-сайты с помощью PHP, MySQL, JavaScript и CSS. 2-е изд. / Р. Никсон. – Санкт-Петербург : Питер, 2013. – 560 с.
4. Ссылка на разработанное приложение в сети Интернет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fishop.mcdir.ru/> (дата обращения: 04.03.20).

*E.M. Berezovskaya, I.S. Mamichev*

## DESIGN AND DEVELOPMENT OF WEB APPLICATION FOR WORK WITH GOODS

Summary. The article is devoted to design and development of a web application for work with goods. The application gives an opportunity to buy, sell and an exchange goods. The developed software product will allow to increase overall performance of the trading company and quality of services, to reduce costs of paper works, to provide more rational use of the monetary capital of a company. The application is realized with the use of PHP, MySQL, HTML, CSS, JavaScript languages.

Web application, online service, business, online store, efficiency, request processing.



*С.В. Дианов<sup>1</sup>, А.Н. Швецов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Вологодский научный центр Российской академии наук,*  
<sup>2</sup>*Вологодский государственный университет*

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ НЕОТЛОЖНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ

*Работа поддержана грантами РФФИ № 20-010-00852 А, № 18-47-350001 р-а и № 19-01-00103 А*

В статье рассматриваются вопросы построения имитационных моделей служб неотложной медицинской помощи. Представлен процесс разработки агент-ориентированной модели скорой медицинской помощи для Сокольского муниципального района Вологодской области. Приведены результаты экспериментов по оптимизации количества одновременно работающих бригад скорой медицинской помощи с использованием разработанной модели.

Неотложная медицинская помощь, агент-ориентированное моделирование, оптимизация.

В настоящее время существует устойчивый тренд увеличения количества публикаций по компьютерному моделированию в области здравоохранения вообще и экстренной медицины в частности [1]. С одной стороны, это говорит о востребованности таких моделей. С другой стороны, до сих пор они не находят должного практического использования. При этом можно утверждать, что моделирование организационных аспектов медицинской практики должно стать точно такой же нормой, как и моделирование в клинической практике. От этого также в значительной степени зависит конечный результат – спасение жизни и здоровья людей.

Применительно к системам здравоохранения в основном используются четыре подхода к компьютерному имитационному моделированию: метод Монте-Карло, системная динамика, дискретно-событийное моделирование и агент-ориентированное моделирование. Соответствующий выбор осуществляется на основании анализа моделируемой системы или проблемы. При этом основными факторами являются:

- 1) необходимость учета изменения системы во времени (динамические и статические модели);
- 2) способ учета изменения системы во времени в динамических моделях: непрерывно или дискретно;
- 3) способ формирования событий в системе: детерминированный (возникают в соответствии с определенным законом, либо предопределены ходом предыдущих событий) или стохастический (возникают случайным образом).

Моделирование по методу Монте-Карло – это метод моделирования, основанный на повторяющейся статистической выборке для приблизительного решения количественных задач. Оно особенно полезно для моделирования явлений со значительной изменчивостью входных вероятностей, систем с большим количеством неопределенных параметров,

а также в тех случаях, когда невозможно вычислить точный результат с помощью детерминированного алгоритма. Таким образом, метод Монте-Карло является статическим методом, подходящим для тех проблем принятия решений, в которых течение времени не играет существенной роли. Он хорошо подходит для моделирования медицинских решений и количественной оценки выгод или рисков, связанных с ними [2].

Моделирование и симуляция системной динамики направлены на понимание совокупного поведения системы с течением времени [3]. Это особенно полезно для понимания динамической сложности поведения системы. Ключевое различие между данным подходом и другими рассматриваемыми здесь подходами, ориентированными на моделирование динамических процессов, заключается в том, что он фокусируется на моделях поведения, генерируемых структурой обратных связей внутри системы, а не на влиянии в значительной степени случайных внешних событий. Его целью часто является прогнозирование качественного характера производительности системы (например, перерегулирования и коллапса, затухающих колебаний, неустойчивых колебаний, хаотического отклика), а не конкретных числовых результатов. Системное динамическое моделирование широко используется применительно к экстренной медицине, в основном для разработки долгосрочных стратегических моделей, предполагающих высокий уровень агрегации объектов, поскольку модели системной динамики рассматривают людей, товары, ресурсы и другие отдельные элементы как совокупность объектов.

Дискретно-событийное моделирование – это метод, используемый для моделирования эволюции состояния или поведения реальной системы в определенные моменты времени. Изменения в состоянии системы обусловлены событиями, которые

происходят мгновенно во времени в узлах или местах обработки. Данный метод является стохастическим (то есть вероятностным), динамическим (то есть изменяющимся во времени) и дискретным (то есть изменения состояния являются мгновенными событиями, разделенными временем) [4]. Он хорошо подходит для моделирования работы существующих или планируемых систем здравоохранения и медицинских учреждений, которые предоставляют диагностические и/или терапевтические услуги (например, лабораторные исследования) и других связанных процессов.

Агент-ориентированное моделирование используется для моделирования действий и взаимодействий «агентов» с целью оценки их воздействия на систему в целом. Генеративный характер моделей позволяет изучать системы на различных уровнях абстракции и обеспечивает следующие преимущества [5]:

- 1) способен отображать сложные явления, возникающие из простых правил;
- 2) обеспечивает естественное представление системы с минимальными ограничениями;
- 3) обеспечивает гибкость при описании допущений, касающихся агента и его среды.

Использование данного подхода позволяет моделировать реалистичные сценарии, в которых агентам разрешено изменять свое поведение, и, следовательно, обеспечивает надежное представление о работе системы в сценариях экстремальной рабочей нагрузки.

Существуют также гибридные модели, которые могут использовать несколько типов моделирования. Они позволяют получать результаты, более близкие к истинному поведению системы, за счет использования сильных сторон нескольких методов моделирования и возможности уменьшения ограничений, связанных с использованием одного типа моделирования. С их помощью можно имитировать индивидуальную изменчивость поведения пациентов и медицинских работников, сохраняя при этом сложное, совокупное поведение, демонстрируемое в системах здравоохранения. Например, подробный обзор совместного использования системной динамики и агент-ориентированного моделирования представлен в [6].

Система неотложной медицинской помощи существует для выполнения основных принципов оказания первой помощи, которые заключаются в том, чтобы сохранить жизнь, предотвратить дальнейшие травмы и способствовать выздоровлению человека. Ключевыми факторами успешного лечения являются: раннее обнаружение (представитель общественности обнаруживает инцидент), раннее оповещение (вызваны аварийные службы), раннее реагирование (аварийные службы быстро прибывают на место происшествия), хорошее медицинское обслуживание на месте происшествия (предоставляется соответствующее лечение), медицинское обслуживание в пути (пациент находится на пути в больницу), перевод на окончательное медицинское обслуживание (пациент передается на попечение врача). При управлении данными услугами необходимо учитывать различные факторы, такие как расположение и перемещение машин скорой помощи,

скорость принятия решений о назначении и маршрутизации машин для каждого вызова.

Наиболее серьезной задачей стратегического и тактического уровня планирования логистической деятельности скорой медицинской помощи является оптимизация расположения станций или отделений скорой помощи в пределах определенного района. Важность решения о наилучшем местоположении обусловлена тем, что результат лечения в экстренных случаях зависит от скорости оказания медицинской помощи. Во многих странах в качестве показателей, дающих представление об улучшении состояния больных, часто используют временные параметры работы скорой медицинской помощи, например среднее время доезда до пациента выездной бригады скорой медицинской помощи. Задача оптимального местоположения отделений скорой помощи относится к классу задач размещения объектов в заданном пространстве. Подходы к решению таких задач используют четыре характеристики [7]:

- клиенты (точки спроса), расположенные в узлах улично-дорожной сети территории;
- объекты обслуживания, также расположенные в узлах улично-дорожной сети территории;
- район расположения всех клиентов и объектов;
- метрика, задающая расстояние между узлами или время доезда до пациента выездной бригады скорой медицинской помощи от одного узла до другого.

В качестве целей задач размещения, как правило, выступают максимизация охвата территории обслуживания, что характерно для моделей покрытия, или минимизация среднего времени доезда до пациента выездной бригады скорой медицинской помощи.

Службы неотложной медицинской помощи представляют собой сложные системы, пытающиеся сбалансировать различные политические, экономические и медицинские интересы. Для их анализа применялись различные подходы, но именно имитационное моделирование обеспечивает более подробное описание системы и позволяет анализировать ее динамические характеристики. Это позволяет говорить о нем как о мощном инструменте принятия решений в сфере организации неотложной медицинской помощи.

Существует множество реализованных моделей служб скорой помощи. Большинство из них являются дискретно-событийными. При этом стоит отметить, что некоторые исследователи считают, что традиционные методы моделирования не всегда способны адекватно анализировать сложные системы. В этой связи они предполагают, что агент-ориентированное моделирование будет преобладающим подходом моделирования в будущем для подобных систем [8].

Данная проблема является актуальной и для Российской Федерации. Существующая в России система оказания населению скорой медицинской помощи включает в себя больше трех тысяч станций и отделений скорой медицинской помощи, в которых работают приблизительно двадцать тысяч врачей и больше семидесяти тысяч работников среднего медицинского

звена. Ежегодно служба скорой медицинской помощи обслуживает от сорока шести до сорока восьми миллионов вызовов, оказывая медицинскую помощь более чем пятидесяти миллионам граждан.

Вместе с тем сложившаяся к настоящему времени в Российской Федерации система организации скорой медицинской помощи населению недостаточно эффективна. Зачастую служба скорой медицинской помощи выполняет несвойственные ей функции, подменяя обязанности амбулаторно-поликлинической службы. Значительное количество выездов бригад скорой медицинской помощи к больным, нуждающимся в экстренном поддержании жизненных функций, на места происшествий выполняется недостаточно быстро. Специализированные врачебные бригады большую часть времени не задействованы или обслуживают непрофильные вызовы. Вышеперечисленные проблемы и еще много других недостатков существующей системы скорой медицинской помощи говорят о необходимости формирования нового подхода к ее организации. Среди наиболее острых проблем можно выделить низкий уровень оказания скорой медицинской помощи сельскому населению. И здесь серьезную поддержку должны оказывать компьютерные имитационные модели, позволяющие определять оптимальные характеристики элементов системы скорой медицинской помощи и их пространственного размещения.

Авторами статьи осуществляется реализация имитационной модели работы отделений скорой медицинской помощи в Сокольском муниципальном районе Вологодской области. По данным федеральной службы государственной статистики в Сокольском

районе на первое января 2019 года проживало 48 133 человека. Из них примерно 7 000 – сельские жители. На его территории расположены четыре амбулатории и четырнадцать фельдшерско-акушерских пунктов (рис. 1). Отделение скорой медицинской помощи располагается в городе Соколе и является отделением центральной районной больницы. В нем круглосуточно работают не менее пяти бригад скорой помощи.

В настоящее время на основе агент-ориентированного и дискретно-событийного подходов в среде AnyLogic создан прототип модели [9]. Так как в Сокольском районе малые деревни и села объединены в сельские поселения, то для упрощения модели в качестве точек, откуда может поступить вызов скорой помощи, выбраны административные центры сельских поселений. Кроме того, для реалистичности модели выбраны еще три деревни, расположенные максимально близко к границам Сокольского района:

- деревня Шулепово располагается севернее города Сокола в пятидесяти семи километрах от него. К ней ведет асфальтированная дорога в не слишком хорошем состоянии;

- деревня Вакориха располагается восточнее города Сокола. Путь до этой деревни примерно сто двадцать километров. Из них около шести километров – грунтовая дорога;

- деревня Лодейщик расположена восточнее города Сокола, путь до нее составляет сорок шесть километров, из которых двадцать пять – грунтовая дорога.

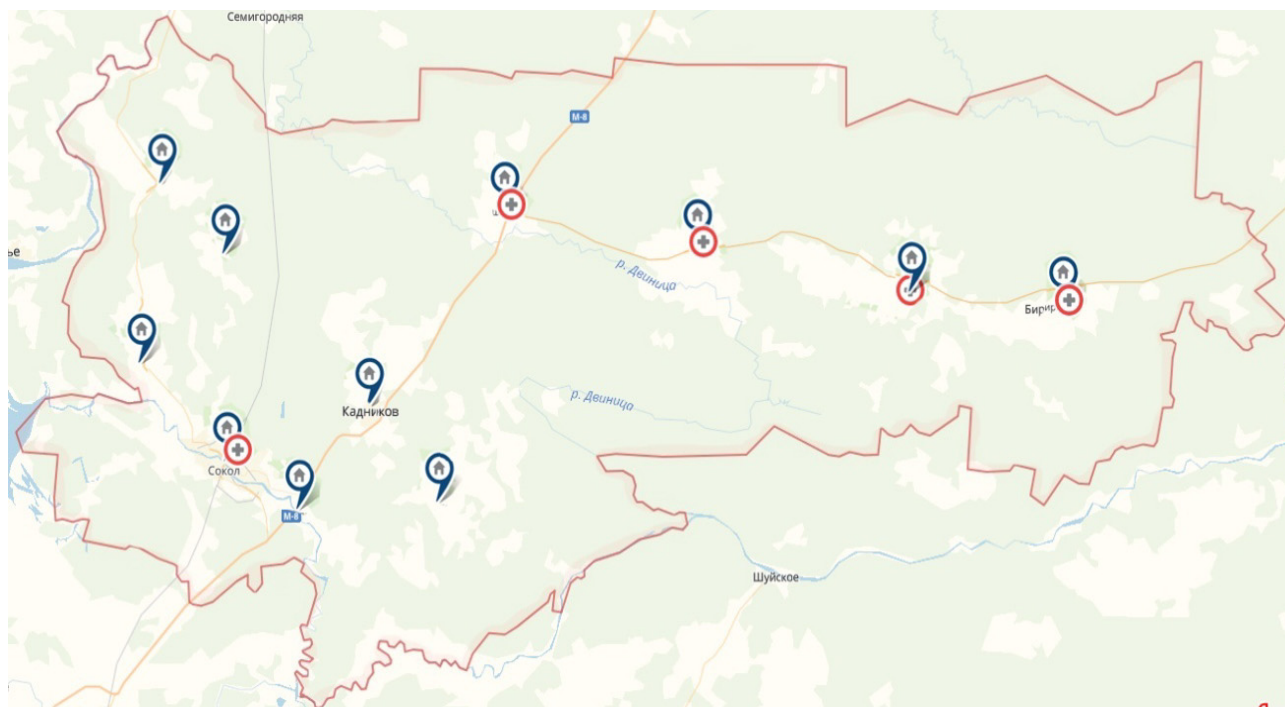


Рис. 1. Расположение отделений скорой помощи

В таблице приведен список всех населённых пунктов, отмеченных на карте, расстояние до районного центра и примерное время, за которое возможно добраться из города Сокола до указанного населенного пункта.

Таблица

**Список населенных пунктов**

Населённый пункт	Путь до г. Сокола, км	Примерное время в пути, мин
Деревня Шулепово	57	56
Село Архангельское	13	16
Город Сокол	0	0
Деревня Литега	15	20
Деревня Марковское	32	37
Город Кадников	20	24
Деревня Лодейщик	46	57
Деревня Чекшино	43	39
Деревня Воробьево	61	53
Деревня Чучково	84	68
Село Биряково	98	79
Деревня Вакориха	120	95

Для реализации модели были созданы две популяции агентов, имитирующих население и машины скорой помощи. С целью обеспечения точности модели был использован механизм интеграции AnyLogic с ГИС-картами. Популяция агентов населения была привязана к географическому положению реальных населенных пунктов (рис. 2).

Реализован механизм изменения состояний агентов, с использованием которого происходит генерация вызова скорой помощи. Интенсивность вызовов определена на основе анализа сведений о деятельно-

сти бригад скорой медицинской помощи в Сокольском районе за два года: в 2016 году было выполнено 17 675 выездов, а в 2017 году – 16 660. С учетом того, что 2017 год был високосным, среднее количество вызовов скорой медицинской помощи в Сокольском районе за два года равно 47,61 вызовам в день. Так как обстоятельства, требующие вызова скорой помощи, складываются случайно и с постоянной вероятностью нахождения в малом интервале, то для задания интенсивности поступления вызовов использовано равномерное распределение.

Первоначальное местоположение популяции агентов машин скорой помощи с использованием той же карты привязано к географическому расположению отделения скорой помощи. С помощью интеграции с ГИС обеспечивается возможность задания перемещения машин скорой помощи не с использованием случайного заданного времени, а с учетом своей скорости и наличия дорог. Взаимодействие двух популяций агентов описывается с помощью дискретно-событийной диаграммы (рис. 3).

Параметры диаграммы определялись на основании следующих рассуждений. Общее затрачиваемое бригадами скорой помощи на каждый выезд время является случайной величиной. Его распределение по Сокольскому району за 2016 и 2017 годы представлено на рисунке 4.

Из гистограммы видно, что большая часть выездов занимала от двадцати одной до сорока минут. А меньше всего вызовов обслуживалось более часа. Для отображения этих данных в модели использована встроенная треугольная (triangular) функция распределения вероятностей (рис. 5).

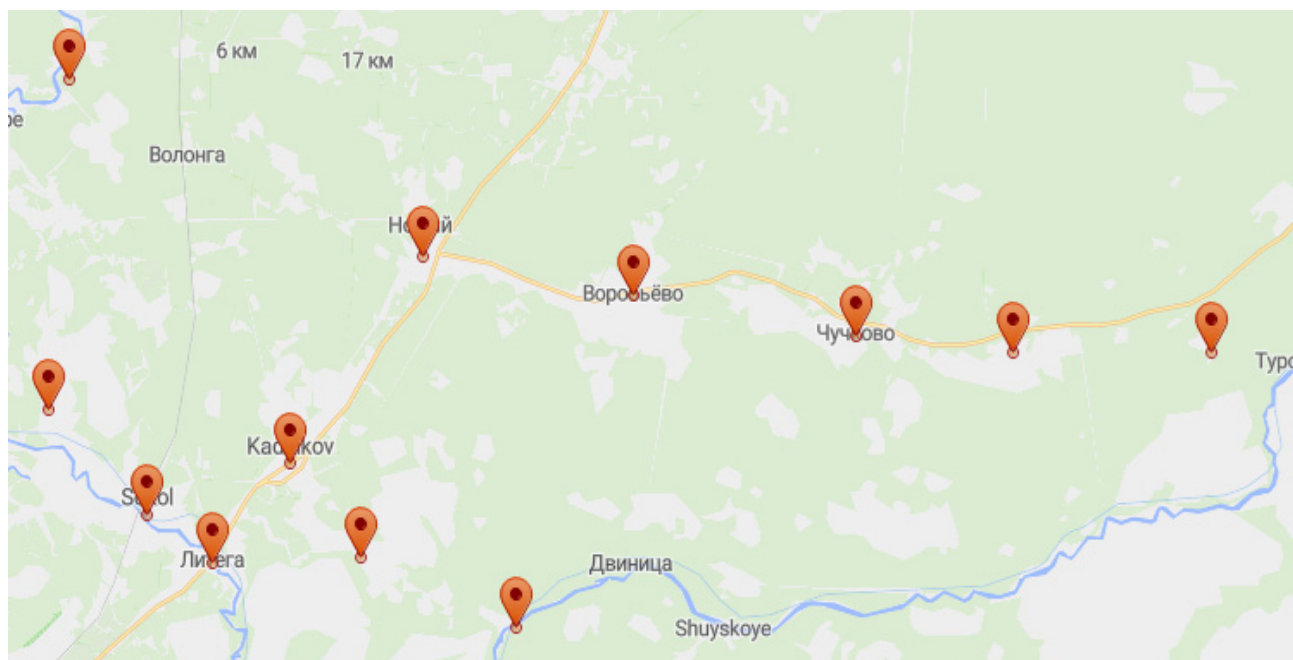


Рис. 2. Карта населенных пунктов

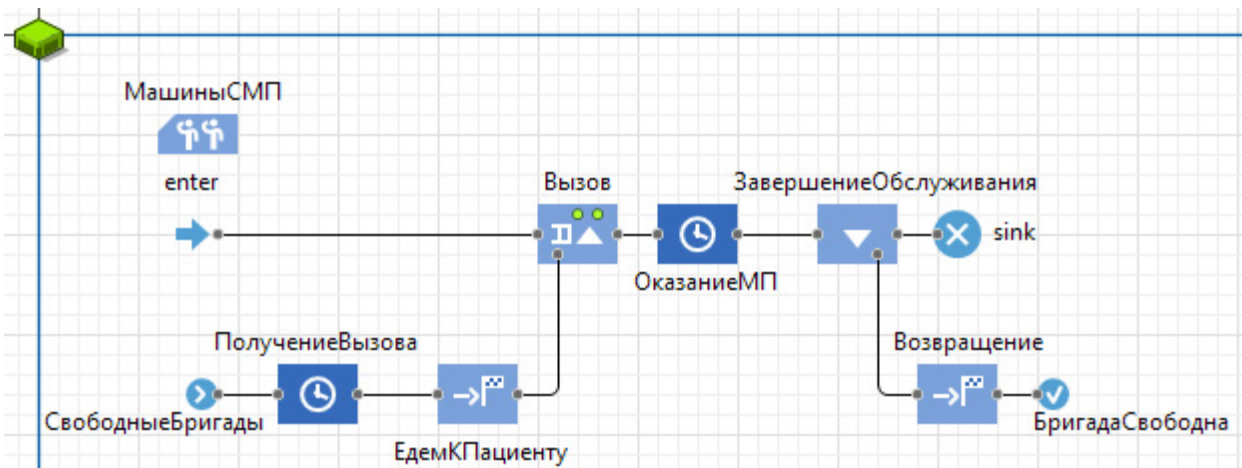


Рис. 3. Диаграмма процесса обслуживания вызова скорой помощи

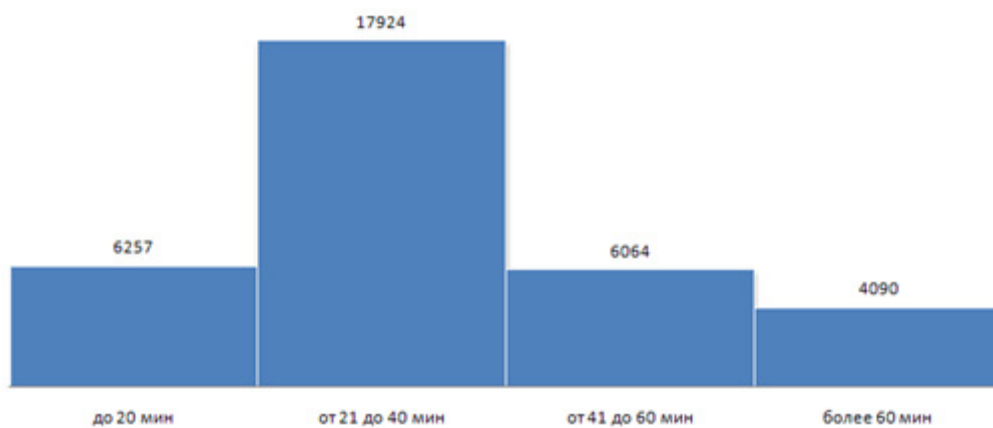


Рис. 4. Распределение выездов по затраченному времени

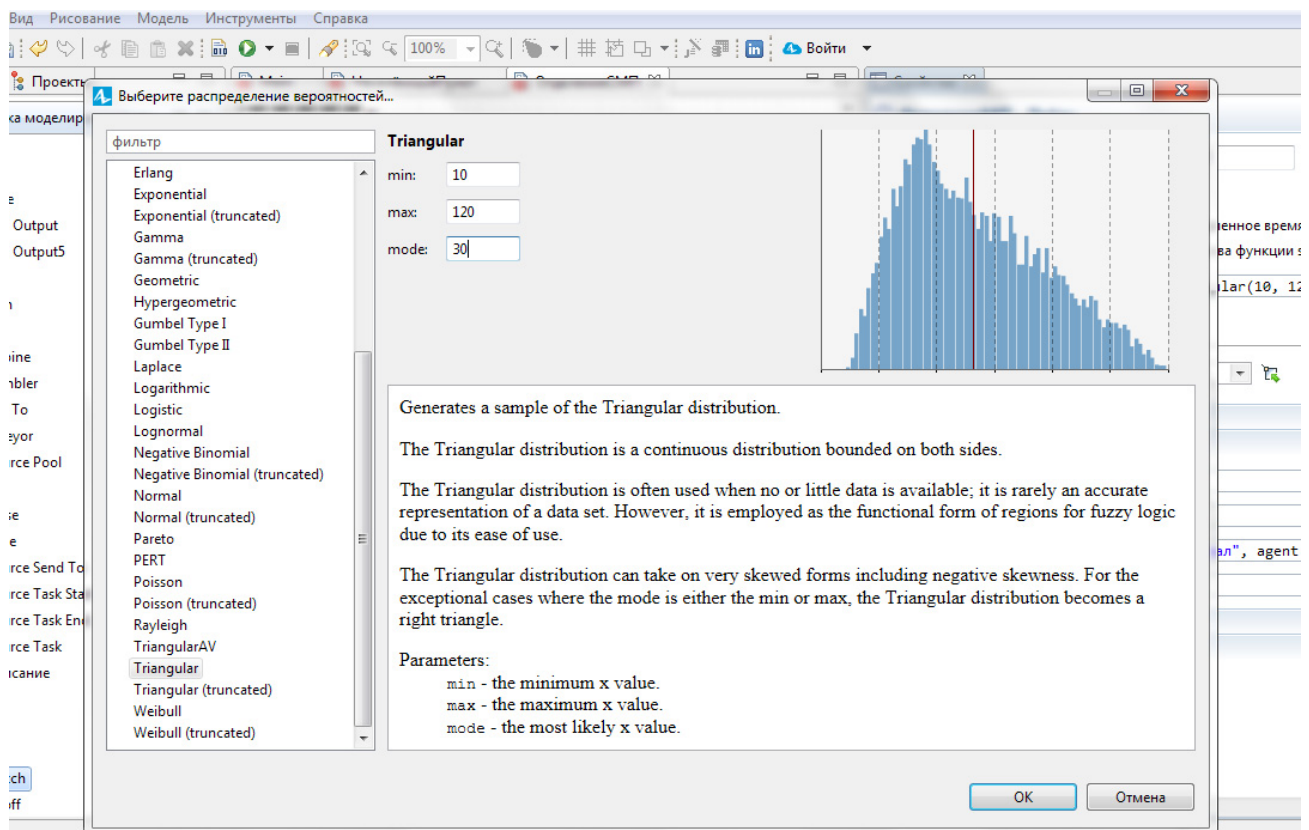


Рис. 5. Вид окна для выбора типа распределения

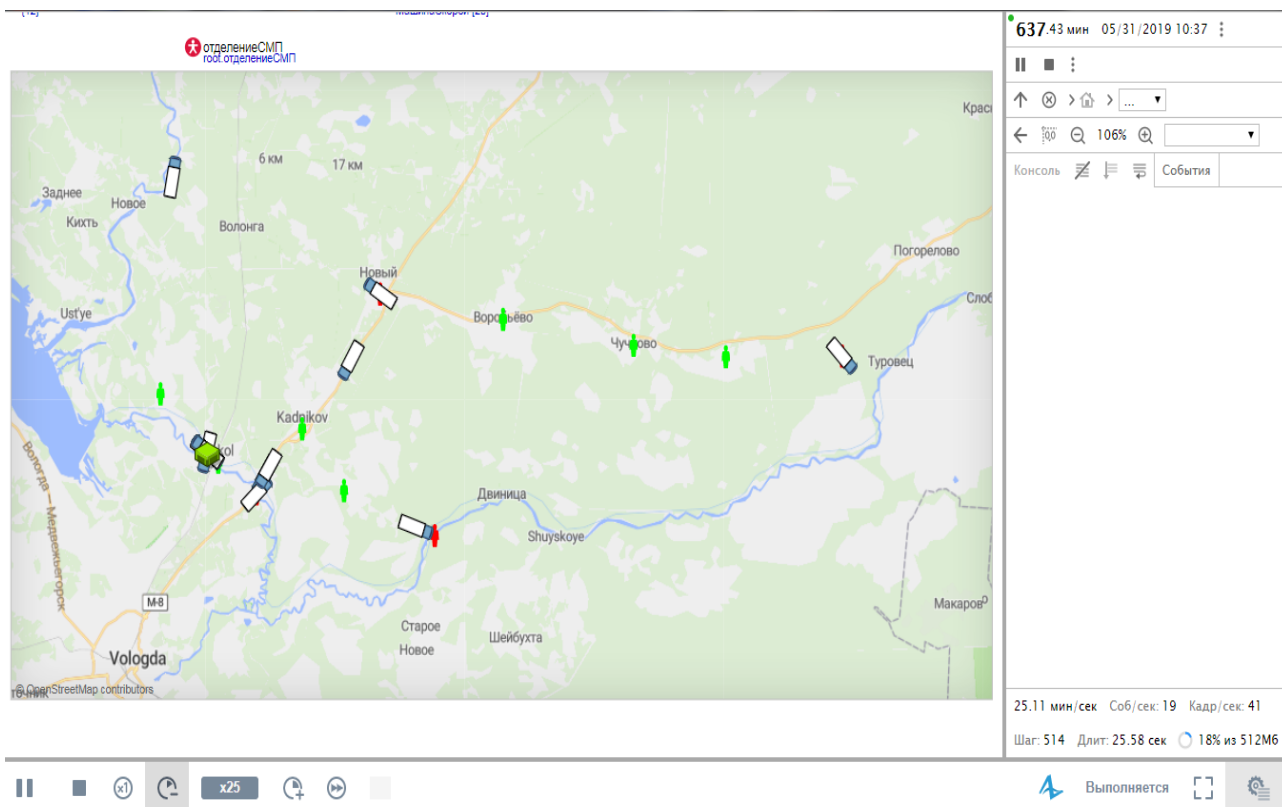


Рис. 6. Вид окна выполнения модели

Общий алгоритм работы модели определен следующим образом: генерируется вызов, поступающий в отделение скорой помощи; вызов передается свободной бригаде; машина скорой помощи доезжает до места вызова; вызов обслуживается; вызов уничтожается; бригада возвращается на станцию. Вид окна выполнения модели представлен на рисунке 6.

На основе разработанной модели был проведен ряд экспериментов с использованием текущих параметров работы станции скорой медицинской помощи (пример результата представлен на рисунке 7). Они свидетельствуют о том, что значение загрузки машин скорой помощи изменяется в пределах от 24 до 30 процентов. Это значит, что соответствующий ресурс используется не оптимально.



## Машины СМП

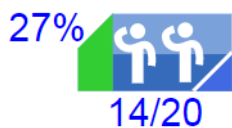


Рис. 7. Средняя загрузка ресурса машин скорой помощи

Для определения оптимально необходимого количества автомобилей скорой помощи был проведен эксперимент с использованием встроенного в AnyLogic оптимизатора OptQuest. Он заключается в последовательном выполнении нескольких прогонов модели с различными значениями параметров и нахождении оптимальных для данной задачи значений параметров. Были определены следующие значения параметров: количество бригад скорой помощи – от 4 до 20; модельное время 300 дней. Результаты представлены на рисунке 8.

Максимально возможное значение средней нагрузки было при использовании одновременно семи бригад скорой помощи. Средняя загруженность при этом была равна 77 %. Был проведен эксперимент с полученным оптимальным значением показателя количества машин скорой помощи. Значение средней загрузки ресурсов при этом варьировалось в диапазоне от 70 до 90 процентов.

Для получения более достоверных и полезных результатов авторы предполагают доработать модель: реализовать дифференциацию поступающих вызовов на экстренные и неотложные, реализовать возможность отправлять на вызов ближайшую к месту вызова машину, реализовать возможность доставки пациента в стационар и др.

Результаты проделанной работы могут быть использованы органами исполнительной власти при принятии решений по организации системы оказания неотложной медицинской помощи на уровне муниципальных районов.

## СМП1 : Optimization

	Текущее	Лучшее
Итерация:	21	7
Функционал↑	0.654	0.773
Параметры	Сору best	
КоличествоМашинСМП	1	7

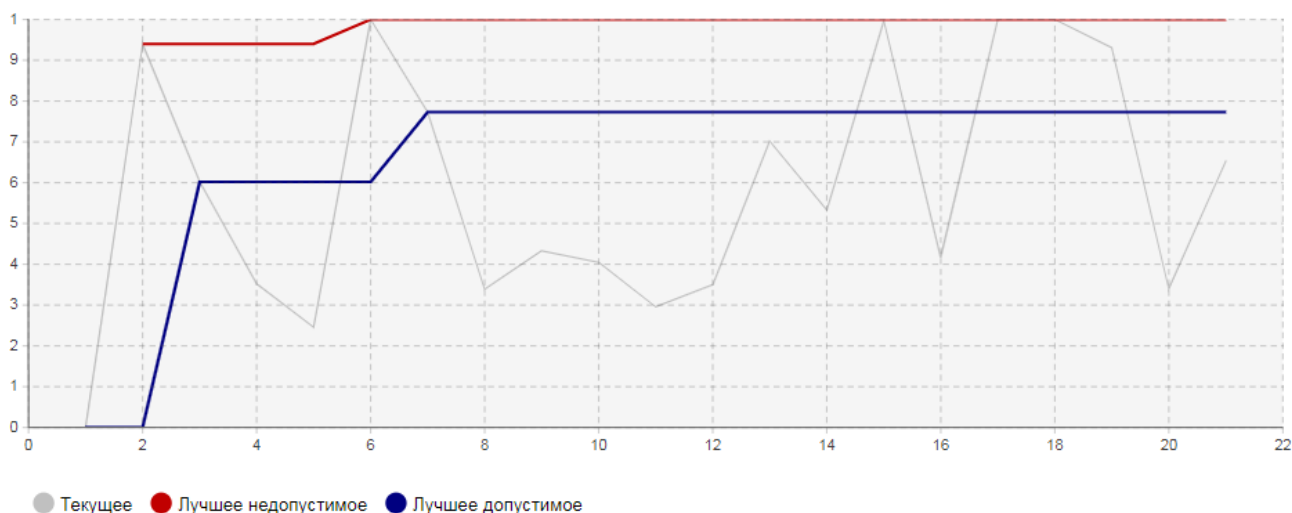


Рис. 8. Результаты эксперимента оптимизации

### Литература

1. Understanding emergency care delivery through computer simulation modeling / L. F. Laker, E. Torabi, D. J. France, C. M. Froehle et al // Acad. Emerg. Med. – 2018. – 25. – pp. 116–127.

2. Simulation Modeling and Analysis / Law A. M., W. D. Kelton, W. D. Kelton // 5th ed. – New York. – McGraw-Hill. – 2015.

3. Sterman, J. D. System dynamics modeling: tools for learning in a complex world / J. D. Sterman // Calif Manage Rev. – 2001. – 43 ( 8). – P. 25.

4. Discrete-event System Simulation / J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson, D. Nicol // 5th ed. UpperSaddleRiver. – NJ – PrenticeHall. – 2009.

5. Bazghandi, A. Techniques, advantages and problems of agent based modeling for traffic simulation / A. Bazghandi // IJCSI International Journal of Computer Science Issues. – Vol. 9. – No 3, January. – 2012. – pp. 115–119.

6. Mathematical modelling for health systems research: a systematic review of system dynamics and agent-based models / R. Cassidy, N. S. Singh, P. Schiratti, et al. // BMC Health Services Research. – Vol. 19. – No 845. – 2019. – pp. 1–24.

7. Parragh, S. N. Introducing heterogeneous users and vehicles into models and algorithms for the dial-a-ride problem. Res. C Emerg. 2011. Technol. – № 19. – P. 912–930.

8. Anagnostou, A., Nouman, A., Taylor, S. J. E. Distributed Hybrid Agent-Based Discrete Event Emergency Medical Services Simulation / A. Anagnostou, A. Nouman, S. J. E. Taylor // In Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference. – Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers – 2013. – pp. 1625–1636.

9. Сергеев, Е. С. Имитационное моделирование в системе ANYLOGIC / Е. С. Сергеев // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2017. – № 3–3. – С. 109–111.

*S.V. Dianov, A.N. Shvetsov*

### SIMULATION MODELING OF EMERGENCY HEALTH CARE SYSTEM

The article deals with the development of simulation models of emergency medical services. The process of developing an agent-based model of ambulance for Sokolsky municipal district of Vologda region is presented. The results of the experiments to optimize the number of simultaneously working ambulance teams with the use of the developed model are presented.

Emergency medical care, agent-based modeling, optimization.



*А.Г. Кузьмин, М.Ф. Умаров*  
 Вологодский государственный университет

## ОБРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ МАССИВОВ ДАННЫХ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В БОЛЬНИЦАХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

В данной работе представлены результаты исследования обработки медицинской информации, создания и эксплуатации медицинских баз данных, а также разработанная на их основе электронная медицинская карта для лечебных учреждениях Вологодской области.

Медицинская информация, база данных, электронная медицинская карта.

Российская система здравоохранения ориентирована на массовую профилактику, предупреждение инфекционных и эпидемических заболеваний, вакцинацию и иммунизацию населения. Нынешняя система государственного здравоохранения состоит из нескольких направлений:

- профилактического здравоохранения;
- первичной медико-санитарной помощи;
- специализированной медицинской помощи;
- акушерско-гинекологической медицинской помощи;
- педиатрической медицинской помощи;
- хирургии;
- восстановительного лечения (санаторий).

Одним из главных минусов нашей системы здравоохранения является отсутствие взаимодействия медицинских учреждений с единой базой данных, содержащей истории болезней. Эффективность медицинских работников сомнительна из-за бумажной работы, так как истории болезни можно легко потерять. Поэтому создание единого информационного пространства для сферы здравоохранения очень актуально.

Система, предназначенная для автоматизации медицинских учреждений, под названием ЕМИАС (Единая медицинская информационно-аналитическая система) представляет собой электронные медицинские карты (ЭМК) с большинством прочих услуг, установленных в системе. Эта система позволяет записываться к врачам-специалистам в электронном виде. Внедрение этой системы началось ещё в 2013 году с организации одной компьютеризированной базы данных для всех пациентов Москвы. Немного позже проект распространился практически по всей России. Требования к информационным системам регламентируются ГОСТ Р53395-2009 [1].

За последнее десятилетие медицинские устройства и информационные технологии (ИТ) стали неразрывно связаны как технологически, так и функционально. Медицинские устройства больше не подключены только к персональному компьютеру (ПК) для оценки данных, они обладают также интегрированной

картой сетевого интерфейса, определяющей возможность их подключения непосредственно к информационно-технологическим сетям (ИТ-сетям) для отправки данных по сети на сервер, для их сохранения в архиве или дальнейшей обработки. ИТ-сеть представляет собой локальную сеть передачи данных на расстоянии. Пользователь может получить доступ к этим медицинским данным пациента в любое время, в любом месте и в любой форме. Это означает, что ИТ-сеть в больнице приобретает всё большую значимость для лечения пациента, а также что требования в отношении доступности, безопасности и эффективности сети постоянно возрастают.

Целью настоящей работы является исследование обработки медицинской информации, создание и эксплуатация медицинских баз данных, использование пакетов прикладных программ информационной поддержки диагностического и лечебного процессов.

Объектом исследования является медицинская информатика и создание электронной медицинской карты (ЭМК) для использования в любых лечебных учреждениях.

Задачи работы:

- 1) разбор такой области науки, как медицинская информатика;
- 2) исследование понятий баз данных и их моделей;
- 3) анализ программного обеспечения и его типов для управления базами данных;
- 4) изучение применения и взаимосвязи медицинских сетей в лечебных учреждениях;
- 5) разработка и построение электронной медицинской базы данных для ЭМК в лечебных учреждениях Вологодской области.

В настоящее время интенсивно развиваются новые технологии в здравоохранении. Расширяющееся влияние компьютеров на общество ощущается и в медицине. По сути, все больницы и поликлиники зависят от компьютерных технологий, которые служат для административных функций и все чаще играют важную клиническую роль. Естественно, что врачи и другие работники здравоохранения все больше чувствуют необходимость понимать вычислительные и коммуникационные технологии, а также иметь ин-

формированный взгляд на то, как успехи в этих областях влияют на практику медицины. Медицинская документация сейчас приобретает электронный вид. Сочетание информатики и биомедицины является основой для мирового прогресса.

Медицинская информатика – это междисциплинарная область исследований использования компьютерных технологий для того, чтобы искать, анализировать информацию, управлять ей и использовать для улучшения здоровья. Основными целями медицинской информатики являются разработка стандартов и клинических руководств, оформление медицинской терминологии для повышения удобства использования медицинских информационных систем, с целью облегчения коммуникации и управления потоками информации от врачей к пациентам. Медицинская информатика возникла в связи с применением в медицине компьютерных технологий и нацелена на биомедицинскую информацию (т.е. применение на практике, хранение, перемещение и обработку данных и знаний), также она служит для нахождения и устранения неисправностей.

Обработка данных включает в себя сбор, формализацию, фильтрацию, сортировку, группировку, архивацию, защиту, транспортировку и преобразование данных.

Базы данных и технологии баз данных оказывают существенное влияние на обширное использование компьютеров. Справедливо сказать, что базы данных играют решающую роль практически во всех областях, где используются компьютеры: в бизнесе, экономике, машиностроении, торговле, военной области, области права, образования и библиотечного дела, а также в системе здравоохранения.

Информационная система представляет собой сбор и обработку информации с помощью технических средств, которые имеют свое программное обеспечение. Целью такой системы является обработка данных объектов реального мира. Основой информационной системы будет база данных.

При создании базы данных человек упорядочивает информацию по определенным признакам и может быстро произвести выборку по различным сочетаниям признаков. При этом следует выбрать правильную модель данных. Модель данных – это упорядоченное представление основных структур данных и операций по их обработке.

Современный подход к обработке информации для моделей баз данных основывается на относительной устойчивости структуры данных. Структура информационной базы, отображающая информационную модель предметной области в структурированном виде, позволяет сформировать логические записи, их элементы и взаимосвязи между ними.

Программное обеспечение базы данных (ПОБД) в основном используется для хранения и управления данными (базами данных), как правило, в структурированном формате. Он обеспечивает графический интерфейс, который позволяет пользователям создавать, редактировать и управлять полями данных и

записей в табличной или организованной форме. После сохранения информации в базе данных с помощью этой программы её можно извлечь в форме отчета. Хотя ПОБД похоже на программное обеспечение для управления базами данных (СУБД), в большинстве программного обеспечения отсутствует встроенная поддержка языков, таких как SQL, MySQL и язык запросов. Например, программа MS Access позволяет пользователям создавать запросы к базе данных, используя элементы интерфейса, без необходимости писать их на языке программирования.

Для развития регионального сегмента Единой государственной информационной системы здравоохранения в Вологодской области существует проект концепции развития региональной системы здравоохранения. Проект разработан департаментом здравоохранения Вологодской области. Данные по финансированию определенных направлений по этому проекту представлены в таблице в соответствии с Законом Вологодской области от 26.03.2018 г. № 4315-ОЗ «О внесении изменений в закон области «Об областном бюджете на 2018 год и плановый период 2019 и 2020 годов» [2].

Таким образом, планируется увеличение бюджета сферы здравоохранения Вологодской области по сравнению с предыдущими годами и создание региональной медицинской системы с использованием электронных медицинских карт.

Рассмотрение электронных медицинских карт (ЭМК) очень важно в системе здравоохранения. ЭМК представляют собой введение клинических и личных электронных записей в компьютерную систему. Это очень трудоёмкий процесс. Электронные медицинские карты в России регулируются при помощи ГОСТ Р 52636-2006 «Электронная история болезни. Общие положения» [3].

После того как информация введена, ЭМК может предупредить врачей о возможной аллергии и взаимодействии с наркотическими веществами, предотвращая врачебные ошибки. Компьютерные сети помогают общаться пациентам и врачам-специалистам друг с другом. Автоматизация таких процессов уменьшает количество ошибок, повышает надежность и позволяет оптимизировать процесс предоставления медицинских услуг пациентам.

Существующие системы и методы сбора данных должны быть модернизированы, чтобы соответствовать стандартам. Также большое влияние имеет финансовая сторона вопроса. В связи с отсутствием государственного финансирования комплексная медицинская система мало развита в России. Но она имеет большие перспективы, такие как быстрое нахождение информации о пациенте врачами-специалистами любых лечебно-профилактических учреждений, сохранность данных в электронном формате, информирование врачей о результатах лабораторных исследований.

По нашему мнению общая схема создания электронной медицинской карты (ЭМК) и её использование в лечебных учреждениях Вологодской области должна выглядеть так, как показано на рисунке 1 [4].

**Проект бюджета информатизации региональной системы здравоохранения  
на 2018–2020 гг. в Вологодской области**

	Мероприятия	Региональный бюджет (в млн руб.)						Итого	
		2018	ЦП	2019	ЦП	2020	ЦП		
<b>Текущее состояние</b> Отсутствие единой системы здравоохранения. Цифровое неравенство в медицинских организациях	Оснащение автоматизированными рабочими местами медицинских работников	приобретение	40	800 шт (30 %)	48	800 шт (50 %)	57,6	960 шт (100 %)	145,6
	Региональные медицинские информационные системы	сопровождение	-	-	20,5	-	24,6	-	45,1
		приобретение	59	12 МО (16 %)	100	63 МО (100 %)	-	-	159
	Региональная автоматизированная система диспетчеризации санитарного автотранспорта	сопровождение	-	-	2	1 шт (100 %)	-	-	2
		приобретение	-	-	-	-	12	-	12
	Центральный архив медицинских изображений	сопровождение	-	-	0,8	-	0,96	-	1,76
		приобретение	4	1 шт (100 %)	-	-	-	-	4
	<b>Целевое состояние</b> Региональная медицинская информационная система здравоохранения. Региональный архив медицинских изображений. Телемедицина	Телемедицина (включая программное обеспечение и оборудование)	сопровождение	-	-	-	-	-	-
приобретение			-	-	10	36 МО (48 %)	12	39 МО (51 %)	22
Региональный центр обработки данных		сопровождение	-	-	-	-	12	-	12
		приобретение	69,0	1 шт (100 %)	29,5	100 % резервирование	-	-	98,5
Использование портативных (мобильных) устройств, интегрированных с РМИС		развитие	-	-	20	-	24,04	-	44,04
Защищенные сети передачи данных, каналы связи		приобретение	13	329 шт (100 %)	3	-	2	-	18
Обеспечение ЭЦП		приобретение	2	2485 шт (100 %)	-	-	-	-	2
Иные мероприятия		приобретение	12	-	6	-	6	-	24
<b>ИТОГО:</b>			<b>199,0</b>		<b>239,8</b>		<b>151,2</b>		<b>590</b>

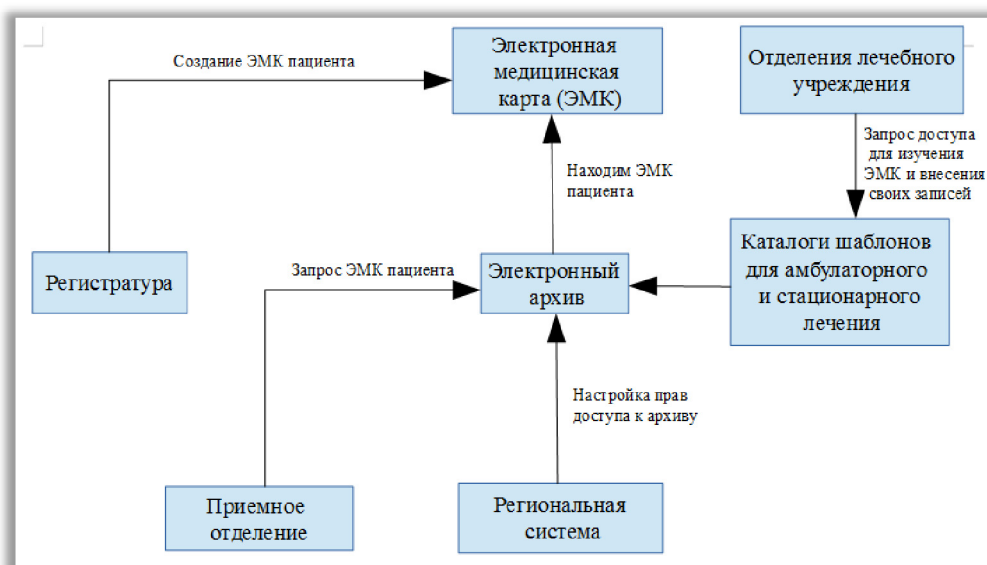


Рис. 1. Общая схема использования ЭМК

Как показано на рисунке 1, все данные о пациенте будут находиться в одной общей региональной системе. Соответственно, приходя в любое другое медицинское учреждение, пациент может не носить с собой свою карту – врачи возьмут всю информацию в электронной базе. Там будут отмечены все его болезни, а также препараты, которыми этот человек лечился.

При рассмотрении недостатков электронных медицинских карт, мы выяснили, что все они решаемы [5].

В случае отключения электропитания в лечебном учреждении, ЭМК не станет абсолютно недоступной для просмотра, так как в лечебных учреждениях всегда есть запасной источник электропитания.

За безопасность данных пациенты могут не волноваться – у всех сотрудников больницы будет разный режим доступа к электронной базе и разные возможности благодаря тому, что в системе выделены автоматизированные рабочие места, то есть в приемном отделении – свое рабочее место, а у врача – другое.

ЭМК не будет полностью уничтожена при неисправностях компьютера, так как она будет храниться в региональной базе.

Также необходимо будет обучать персонал работе с электронной документацией.

Для детального рассмотрения вопроса создадим базу данных ЭМК.

Первым делом происходит определение сущностей предметной области. Следующим этапом будет определение атрибутов для каждой сущности, которые применимы к рассматриваемой предметной области.

Потом определяем связи между сущностями предметной области. Процесс определения связей, как правило, начинают с выделения связей для стержневых (или основных) сущностей предметной области. В нашем случае к основной можно отнести сущность ЭМК.

Теперь создаем графическую схему предметной области, которая представлена на рисунке 2.

Далее требуется разработка структуры таблиц базы данных.

Затем происходит установление связей между таблицами базы данных (рис. 3).

Далее вводим данные в таблицы. В первую очередь заполняем таблицу «Болезни», далее таблицы «Пациент», «Больница», «Поликлиника» и в последнюю очередь таблицу «ЭМК».

Создадим форму «Новый пациент» с помощью мастера форм. Источником данных для этой формы будет таблица «Пациент». Эта форма предназначена для ввода и редактирования информации о пациентах.

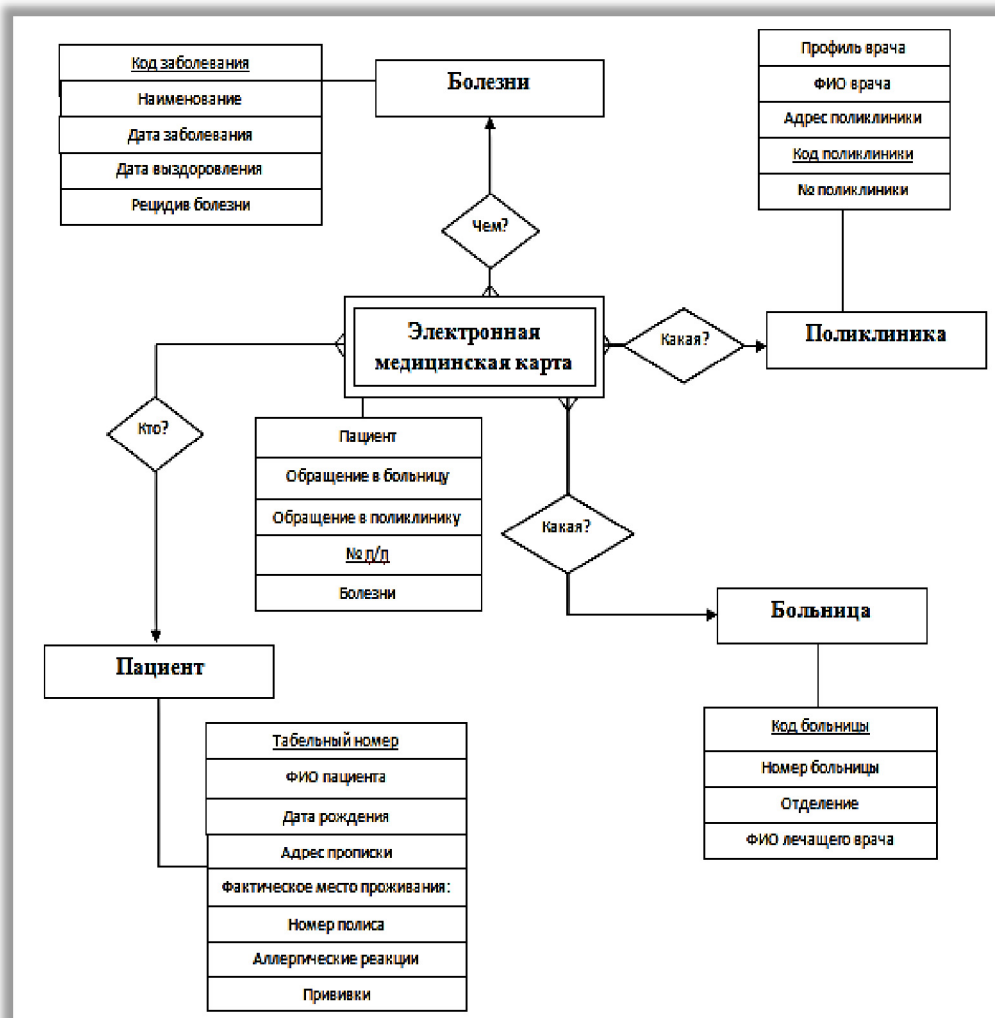


Рис. 2. Графическая схема предметной области

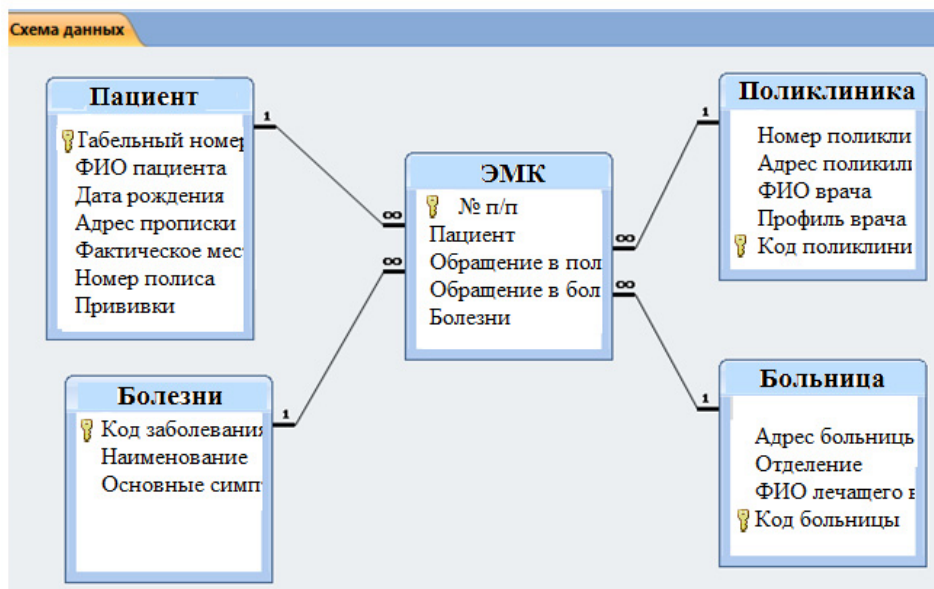


Рис. 3. Установление связей между таблицами

В результате в соответствии с выбранными параметрами мастером будет создана форма и сохранена с указанным именем, затем эта форма будет открыта в заданном режиме. Форма «Новый пациент», созданная с помощью мастера форм, представлена на рисунке 4.

The screenshot shows a form titled 'Пациент' with a header 'Заголовок формы' and a data area 'Область данных'. The data area contains fields for: Табельный номер, ФИО пациента, Дата рождения, Адрес прописки, Фактическое место проживания, Номер полиса, Прививки, and Аллергические реакции.

Рис. 4. Форма «Новый пациент»

Одной из основных задач создания и использования баз данных является предоставление пользователям необходимой информации на основе существующих данных. Отчеты позволяют выбрать из базы данных требуемую информацию и оформить ее в виде документов, которые можно просмотреть и экспортировать в файл (MSWord, Excel).

Источником данных для отчета может быть таблица или запрос. Отчеты не предназначены для ввода и правки данных в таблицах. В отчете невозможно изменить исходные данные с помощью элементов управления, как это можно сделать с помощью форм. Хотя в отчетах можно использовать та-

кие же элементы управления для указания состояния переключателей, флажков и списков. Мы создадим два вида отчета.

1. Отчет по пациентам, посетившим поликлинику, с помощью мастера отчетов.

Создадим запрос «Запрос ЭМК» (рис. 1), на основе которого будем строить отчет. Для этого выберем таблицы «Пациент», «Болезни», «Поликлиника», «Больница», «ЭМК». Из них соответственно выберем поля «Дата рождения» и «ФИО пациента»; «Номер поликлиники», «ФИО врача» и «Профиль врача»; «Адрес больницы», «ФИО лечащего врача» и «Отделение»; «Наименование» и «Симптомы болезней».

Далее с помощью мастера отчетов создадим отчет по пациентам, обратившимся в поликлиники (рис. 5).

2. Отчет с параметром выбора отделения больницы с помощью конструктора отчетов.

Чтобы сразу видеть, какие отделения больницы посещали пациенты, создадим отчет с параметром выбора.

The report shows a table with the following data:

ФИО пациента	Дата рождения	Номер поликлиники	ФИО врача	Наименование болезни	Основные симптомы
Иванов Иван Иванович	22 марта 1970 г.	5	Иванова Дарья Ивановна	ОРВИ	Заложенность носа, насморк, першение в горле, кашель
Смирнова Ольга Ивановна	15 мая 1986 г.	2	Сидоров Максим Михайлович	Острый аппендицит	Боли в животе, тошнота

Рис. 5. Отчет по запросу «Пациенты, обратившиеся в поликлиники» в режиме просмотра

После создания основы, при запуске отчета в высветившемся диалоговом окне (рис. 6) нужно выбрать отделение.

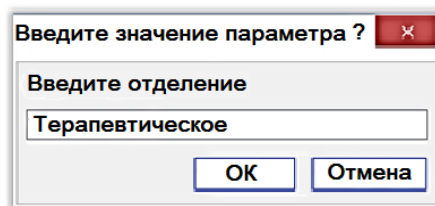


Рис. 6. Отчет в данном отделении в режиме представления отчета

И теперь увидим отчет именно в терапевтическом отделении (рис. 7).

Пациенты, лечившиеся в этом отделении:		
Отделение	Терапевтическое	
ФИО пациента	Дата рождения	Наименование
Иванов Иван Иванович	12 мая 1977 г.	Ангина
ФИО пациента	Дата рождения	Наименование
Петрова Марина Петровна	19 марта 1991 г.	ОРВИ

Рис. 7. Отчет по пациентам в отделении терапии

Так мы рассмотрели построение базы данных «ЭМК» и создание отчетов для нужд здравоохранения.

Таким образом, базы данных и технологии баз данных оказывают существенное влияние на обширное использование компьютеров в лечебно-профилактических учреждениях Вологодской области. Справедливо сказать, что базы данных играют решающую роль в системе здравоохранения настоящего времени.

База данных представляет собой электронную информационную модель, которая хранит в себе данные об определенной группе объектов, обладающих, похожими свойствами и позволяет легко получить доступ к этим сведениям и, в зависимости от необходимости, легко управлять ими и обновлять.

Медицинская информатика нацелена на биомедицинскую информацию (т.е. применение на практике, хранение, перемещение и обработку данных и зна-

ний). А также она служит для нахождения и устранения неисправностей в медицинских сетях ЛПУ.

Текущие возможности для исследований в области медицинской информатики позволяют развивать информационные системы в лечебных учреждениях. Для реализации информационных систем в больницах требуется более скрупулезный подход, чем для многих других секторов. Это связано, прежде всего, с выполнением ключевых задач, а именно: непосредственное лечение и наблюдение пациентов, уход за ними, удовлетворение их потребностей, личный контакт и связь – они не должны быть нарушены вследствие применения систем обработки данных.

Были изучены все теоретические аспекты медицинской информатики и создана база данных ЭМК для наглядного примера части реализации информационных систем лечебных учреждений Вологодской области.

Далее была определена общая схема электронной медицинской карты, построена инфологическая модель, разработана структура базы данных, созданы таблицы и установлена связь между ними. Также, для примера, наполнили их данными и представили 2 вида отчетов, которые могут создаваться для нужд здравоохранения.

#### Литература

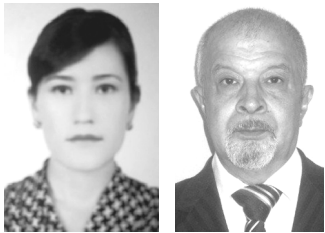
- ГОСТ Р 53395-2009. Информатизация здоровья. Основные положения : введен 2010-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 8 с.
- О внесении изменений в закон области «Об областном бюджете на 2018 год и плановый период 2019 и 2020 годов : Закон Вологодской области от 26.03.2018 № 4315-ОЗ. – Текст : электронный // Тех-эксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 15.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
- ГОСТ Р 52636-2006. Электронная история болезни. Общие положения : введен 2008-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 16 с.
- Кузьмин, А. Г. Использование электронных медицинских карт в лечебных учреждениях / А. Г. Кузьмин, М. Ф. Умаров // Вестник Вологодского государственного университета. – 2018. – № 1 (1). – С. 47–50.
- Шехурдина, С. Д. Электронные медицинские карты в лечебных учреждениях / С. Д. Шехурдина // Актуальные вопросы биомедицинской инженерии : сборник материалов VII Всероссийской научной конференции для молодых ученых (Саратов, 23 октября – 11 декабря 2017). – Саратов : СГТУ, 2018. – С. 194–197.

*A.G. Kuzmin, M.F. Umarov*

#### PROCESSING AND USE OF MEDICAL INFORMATION LARGE DATA SETS IN HOSPITALS OF VOLOGDA REGION

The paper presents the results of the study of medical information processing, creation and operation of medical databases, as well as an electronic medical card developed on their basis for medical institutions in Vologda region.

Medical information, database, electronic medical record.



*Ш.М. Мухамеджонов<sup>1</sup>, А.Б. Назимов<sup>2</sup>*  
<sup>1</sup>Худжандский государственный университет им. Б. Гафурова,  
<sup>2</sup>Вологодский государственный университет

## БЫСТРЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ МАССИВОВ ДАННЫХ

Рассматривается пример алгоритма обработки информации на основе системы линейных алгебраических уравнений с циркулянтной, перциркулянтной и нейтрального типа матрицами, которые могут быть решены с помощью дискретного преобразования Фурье.

Обработка информации, система, методика, циркулянтная матрица, перциркулянтная матрица, матрица нейтрального типа, матрица Фурье, быстрое преобразование Фурье, массивы данных.

В ряде случаев при обработке больших массивов данных с несколькими неизвестными значениями прибегают к системам линейных алгебраических уравнений. В данном случае предлагается использовать алгоритм решения на основе преобразований Фурье.

Решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), матрица которых имеет специальную структуру, можно выполнить с использованием быстрого преобразования Фурье. Под специальной структурой матрицы понимается её циркулянтность, перциркулянтность и их сумма. Решение СЛАУ порядка  $N$  методом Гаусса использует  $O(N^3)$  операции умножения. Для решения СЛАУ с циркулянтной [1] и перциркулянтной матрицами или матрицей нейтрального типа [2] это число можно довести до  $O(N \log_2 N)$ .

**1. Решение циркулянтной системы.** Квадратная матрица  $A = [a_{mn}]_{N \times N}$  называется **циркулянтной** матрицей порядка  $N$ , если равенство  $a_{m'n'} = a_{m''n''}$  имеет место при выполнении условия

$$m' - n' \equiv m'' - n'' \pmod{N}. \quad (1)$$

Циркулянтную матрицу обозначим буквой  $C = C_N$ . СЛАУ с циркулянтной матрицей назовём **циркулянтной** системой. Циркулянтная матрица четвёртого порядка ( $N = 4$ ) имеет вид

$$C = C_4 = \begin{bmatrix} c_0 & c_1 & c_2 & c_3 \\ c_3 & c_0 & c_1 & c_2 \\ c_2 & c_3 & c_0 & c_1 \\ c_1 & c_2 & c_3 & c_0 \end{bmatrix}.$$

Очевидно, что, имея только первую строку циркулянтной матрицы, однозначно можно восстановить остальные её строки.

Если вместо равенства (1) требовать выполнение равенства

$$m' + n' \equiv m'' + n'' \pmod{N},$$

то матрица  $A = [a_{mn}]_{N \times N}$  называется **перциркулянтной** матрицей порядка  $N$ . Перциркулянтную матрицу обозначим буквой  $P = P_N$ . СЛАУ с перциркулянтной матрицей назовём **перциркулянтной** системой. Перциркулянтная матрица четвёртого порядка ( $N = 4$ ) имеет вид

циркулянтной матрицей назовём **перциркулянтной** системой. Перциркулянтная матрица четвёртого порядка ( $N = 4$ ) имеет вид

$$P = P_N = \begin{bmatrix} p_3 & p_2 & p_1 & p_0 \\ p_2 & p_1 & p_0 & p_3 \\ p_1 & p_0 & p_3 & p_2 \\ p_0 & p_3 & p_2 & p_1 \end{bmatrix}.$$

Если дана первая строка перциркулянтной матрицы, можно восстановить все её остальные строки.

Квадратная матрица  $A = [a_{mn}]_{N \times N}$  называется **матрицей нейтрального типа** порядка  $N$ , если она является суммой циркулянтной и перциркулянтной матриц порядка  $N$ . СЛАУ с матрицей нейтрального типа назовём **системой нейтрального типа**.

Две квадратные матрицы  $A$  и  $B$  порядка  $N$  называются **подобными**, если найдется такая обратимая матрица  $U$ , что  $B = U^{-1}AU$ .

**Теорема 1.** Пусть  $C$  – произвольная циркулянтная матрица. Матрица  $C$  подобна диагональной матрице и матрицей, приводящей её к диагональному виду, является матрица Фурье  $U = F$ :

$$F = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{bmatrix} w_0^0 & w_0^1 & w_0^2 & \dots & w_0^{N-1} \\ w_1^0 & w_1^1 & w_1^2 & \dots & w_1^{N-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{N-1}^0 & w_{N-1}^1 & w_{N-1}^2 & \dots & w_{N-1}^{N-1} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где числа  $w_m = e^{-i\frac{2\pi}{N}m}$ ,  $m = 0, N-1$ .

Матрица Фурье  $F$ , определённая равенством (2), является унитарной, то есть её сопряженная совпадает с обратной матрицей:  $F^* = F^{-1}$ .

**Доказательство.** Непосредственным вычислением проверяется справедливость равенства

$$F^* Q F = \text{diag}(w_0, w_1, \dots, w_{N-1}) \equiv \begin{bmatrix} w_0 & & & \\ & w_1 & & \\ & & \ddots & \\ & & & w_{N-1} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $Q$  – так называемая **матрица перестановок**; она и ее степени имеют следующие представления:

$$Q = \left[ \begin{array}{c|c} 0 & E_{N-1} \\ \hline E_1 & 0 \end{array} \right], \dots, Q^k = \left[ \begin{array}{c|c} 0 & E_{N-k} \\ \hline E_k & 0 \end{array} \right], \dots,$$

$$Q^k = \left[ \begin{array}{c|c} 0 & E_{N-k} \\ \hline E_k & 0 \end{array} \right], \dots, Q^{N-1} = \left[ \begin{array}{c|c} 0 & E_1 \\ \hline E_{N-1} & 0 \end{array} \right], \quad Q^N = E_N$$

а  $E_k$  – единичная матрица порядка  $k$ .

Если  $c_0, c_1, \dots, c_{N-1}$  – элементы первой строки циркулянтной матрицы  $C$  порядка  $N$ , то справедливо равенство

$$C = c_0 E + c_1 Q + c_2 Q^2 + \dots + c_{N-1} Q^{N-1} = \sum_{k=0}^{N-1} c_k Q^k. \quad (4)$$

Из (3) и (4) вытекает справедливость утверждения теоремы:

$$F^* C F = F^* \sum_{k=0}^{N-1} c_k Q^k F = \sum_{k=0}^{N-1} c_k F^* Q^k F = \sum_{k=0}^{N-1} c_k (F^* Q F)^k =$$

$$= \sum_{k=0}^{N-1} c_k \begin{bmatrix} w_0 & & & \\ & w_1 & & \\ & & \ddots & \\ & & & w_{N-1} \end{bmatrix}^k = \sum_{k=0}^{N-1} c_k \begin{bmatrix} w_0^k & & & \\ & w_1^k & & \\ & & \ddots & \\ & & & w_{N-1}^k \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \sum_{k=0}^{N-1} c_k w_0^k & & & \\ & \sum_{k=0}^{N-1} c_k w_1^k & & \\ & & \ddots & \\ & & & \sum_{k=0}^{N-1} c_k w_{N-1}^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_0 & & & \\ & \lambda_1 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_{N-1} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где

$$\lambda_m = \varphi(w_m), \quad \varphi(w) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k w^k.$$

Теорема 1 доказана.

Алгоритм быстрого решения циркулянтной системы

$$C x = b, \quad (6)$$

основанный на методе Фурье, начинается с замены этой системы на две системы:

$$F^* C F y = F^* b, \quad (7)$$

$$F^* x = y. \quad (8)$$

Шаг 1. Вычислить  $F^* b$  (обратное преобразование Фурье с вектором  $b$ ).

Шаг 2. Вычислить  $F^* C F$  (прямое преобразование Фурье с первой строкой матрицы  $C$ ).

Шаг 3. Найти неизвестный вектор  $y$  из системы (7); матрица коэффициентов этой системы является диагональной матрицей, и она содержится в правой части (5).

Шаг 4. Найти неизвестный вектор  $x$  из системы (8) по формуле  $x = F z$  (прямое преобразование Фурье с вектором  $z = \frac{1}{\sqrt{N}} y$ ).

Оценим (по порядку) количество арифметических операций в предложенном алгоритме. Прямое и обратное преобразования Фурье можно осуществить за

$O(N \log_2 N)$  арифметических операций. Поэтому на выполнение шагов 1, 2 и 4 потребуется  $O(N \log_2 N)$  арифметических операций. Выполнение шага 3 требует всего  $O(N)$  арифметических операций. Таким образом, решение циркулянтной системы (6) можно осуществить за  $O(N \log_2 N)$  арифметических операций.

**2. Решение перциркулянтной системы.** Простейшим примером перциркулянтной матрицы порядка  $N$  является так называемая **матрица отражения**

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Если переставить все столбцы (строки) матрицы отражения в обратном порядке, то получится единичная матрица порядка  $N$ . Матрица отражения (9) удовлетворяет следующим равенствам:

$$R^2 = E, \quad R^T = R, \quad R^{-1} = R.$$

Справедливость этих равенств проверяется непосредственно.

С помощью матрицы отражения можно сформулировать простой признак перциркулянтности матрицы. Из определения перциркулянтной матрицы получаем следующее утверждение.

**Теорема 2.** 1) *Квадратная матрица  $P$  порядка  $N$  является перциркулянтной тогда и только тогда, когда любая из матриц  $RP$  или  $PR$  является циркулянтной.*

2) *Квадратная матрица  $C$  порядка  $N$  является циркулянтной тогда и только тогда, когда любая из матриц  $RC$  или  $CR$  является перциркулянтной.*

Заметим, что матрицы  $RP$  и  $PR$  являются или не являются циркулянтными одновременно.

Теорема 2 показывает, что умножение на матрицу отражения есть взаимно однозначное соответствие между множествами циркулянтных и перциркулянтных матриц одного и того же порядка.

Дискретное преобразование Фурье матриц отражения является важным моментом разработки быстрого алгоритма решения систем с перциркулянтными матрицами. Положим:

$$\text{pd}(\mu_0, \mu_1, \dots, \mu_{N-1}) = \begin{bmatrix} \mu_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & & \mu_1 \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & \mu_{N-1} & & 0 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Пусть  $R$  – матрица отражения и  $F$  – матрица Фурье порядка  $N$ . Тогда

$$F^* R F = \text{pd}(w_0, w_1, \dots, w_{N-1}),$$

где  $w_k, N$  – все корни степени из единицы.

**Теорема 3.** *Пусть  $(p_0, p_1, \dots, p_{N-1})$  – первая строка перциркулянтной матрицы  $P$ . Тогда*

$$F^* P F = \text{pd}(\mu_0, \mu_1, \dots, \mu_{N-1}),$$

где матрица  $\text{pd}(\dots)$  – определена в (10), а



В обеих матрицах ненулевые элементы расположены на двух диагоналях, которые обозначены многоточием, а все остальные элементы равны нулю.

Алгоритм быстрого решения СЛАУ

$$Ax = b, \quad (20)$$

где  $A = C + P$  – матрица нейтрального типа порядка  $N$ , основан на утверждении теоремы 4. Для этого заменим СЛАУ (20) на две системы:

$$F^*(C + P)Fy = F^*b \quad (21)$$

$$x = Fy. \quad (22)$$

Система (21) распадается на отдельные системы второго порядка и одно или два уравнения с одним неизвестным. Это зависит от четности и нечетности числа  $N$ .

Если  $N = 2M + 1$  – то есть нечетно, то система (21) распадается на одно уравнение с одним неизвестным:

$$(\lambda_0 + \mu_0)y_0 = [F^*b]_0$$

и  $M$  систем второго порядка:

$$\begin{cases} \lambda_k y_k + \mu_k y_{N-k} = [F^*b]_k, \\ \lambda_{N-k} y_k + \mu_{N-k} y_{N-k} = [F^*b]_{N-k}, \end{cases} \quad k = \overline{1, M};$$

если же  $N = 2M$ , то есть чётно, то система (21) распадается на два уравнения с одним неизвестным:

$$\begin{aligned} (\lambda_0 + \mu_0)y_0 &= [F^*b]_0, \\ (\lambda_M + \mu_M)y_M &= [F^*b]_M \end{aligned}$$

и на  $M-1$  систем второго порядка

$$\begin{cases} \lambda_k y_k + \mu_k y_{N-k} = [F^*b]_k, \\ \lambda_{N-k} y_k + \mu_{N-k} y_{N-k} = [F^*b]_{N-k}, \end{cases} \quad k = \overline{1, M-1}.$$

Здесь использованы обозначения:

$$y = (y_0, y_1, \dots, y_{N-1})^T,$$

$$F^*b = ([F^*b]_0, [F^*b]_1, \dots, [F^*b]_{N-1})^T.$$

Следовательно, независимо от четности или нечетности  $N$  для решения системы (21) будет использовано  $O(N \log_2 N)$  операций умножения. Для нахождения искомой неизвестной  $X$  из системы (22) используется такое же количество умножений (по порядку).

Таким образом, для решения СЛАУ (20) методом быстрого преобразования Фурье будет использовано  $O(N \log_2 N)$  операций умножения, что позволит значительно сократить время обработки информации. Данный подход может быть полезен для обработки больших массивов данных и при разработке математических моделей с несколькими неизвестными.

#### Литература

1. Гантмахер, Ф. Р. Теория матриц / Ф. Р. Гантмахер. – Москва : Наука, 1966. – 576 с.
2. Метод регуляризации сдвигом: теория и приложения : монография / А. Б. Назимов, Э. М. Мухаммадиев, В. А. Морозов, М. Муллоджанов. – Вологда : ВоГТУ, 2012. – 368 с.

*Sh.M. Mukhamedzhonova, A.B. Nazimov*

#### FAST PROCESSING ALGORITHMS FOR LARGE DATA SETS

The articles considers the example of the data processing algorithm based on a system of linear algebraic equations with circular, percirculant and neutral type matrices that can be solved using the discrete Fourier transform.

Data processing, system, technique, circulant matrix, percirculant matrix, neutral type matrix, Fourier matrix, fast Fourier transform, data sets.



## АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

Рассматриваются критерии работоспособности электрооборудования существующих подстанций. Рекомендуется при анализе целесообразности реконструкции существующей подстанции производить комплексную оценку технического состояния оборудования на основе технического риска отказов электрооборудования.

Цифровая подстанция, электрооборудование, техническое состояние, риск отказов электрооборудования, автоматизированная система управления, эксплуатация, внедрение, повышение эффективности.

Эксплуатируемые в настоящее время в России подстанции (ПС) в большинстве случаев исчерпали свой ресурс и устарели физически и морально, т.к. находятся в эксплуатации более 30 лет.

Сегодня много говорят про технологию «Цифровая подстанция». Цифровая подстанция (ЦПС) – это подстанция с высоким уровнем автоматизации, в которой практически все процессы информационного обмена между элементами ПС, а также управление работой ПС осуществляется в цифровом виде на основе стандарта МЭК 61850.

На сегодняшний день в России запущены несколько пилотных цифровых подстанций. 16 апреля 2018 г. прошло открытие подстанции «Тобол» напряжением 500 кВ в Тюменской области. Уникальность подстанции заключается в том, что это первый энергообъект сверхвысокого напряжения не только в регионе, но и во всей России, на котором комплексно используются цифровые технологии. В частности, на подстанции установлены цифровые оптические трансформаторы тока и напряжения. Восемьдесят процентов оборудования на этом энергообъекте – отечественного производства. Общий объем инвестиций в проект составил 5,3 млрд рублей.

4 июня 2018 г. в Москве открыли первую в регионе цифровую подстанцию (ПС) 110 кВ «Медведевская» ПАО «Московская объединенная электросетевая компания» мощностью 160 МВА, которая предназначена для электроснабжения объектов, расположенных на территории инновационного центра «Сколково». Общий объем инвестиций в проект составил 1,527 млрд рублей.

Замена работающих подстанций на цифровые требует большого объема инвестиций и равноценна строительству новой дорогой подстанции, так как к электротехническому оборудованию дополнительно предъявляются следующие требования:

– использование цифровых трансформаторов тока (ТТ) и трансформаторов напряжения (ТН) с поддержкой протокола МЭК 61850-9-2;

– использование систем диагностики и мониторинга состояния силовых трансформаторов (Т), авто-трансформаторов (АТ), распределительных устройств (РУ) и др. с поддержкой протокола МЭК 61850-8-1;

– использование управляемых статических компенсаторов реактивной мощности (СКРМ), оснащенных контроллерами с поддержкой протокола МЭК 61850-8-1;

– использование коммутационных аппаратов (КА) напряжением 6–750 кВ, привод которых оснащен встроенными полевыми преобразователями с поддержкой протокола МЭК 61850-8-1 или обеспечивает возможность преобразователей стороннего производителя.

– щиты постоянного тока (ЩПТ) должны быть оборудованы устройствами сигнализации и контроля, которые поддерживают протокол МЭК 61850-8-1.

– особые требования предъявляются к средствам релейной защиты и автоматики (РЗА) – все функции РЗА и АСУ подстанции должны быть стандартизированы и соответствовать протоколу МЭК 61850-8-1.

С учетом приведенных основных требований к ЦПТ и объема инвестиций становится ясно, что переход от традиционных подстанций к ЦПТ будет происходить поэтапно. В первую очередь преобразования должны быть подвергнуты подстанции, исчерпавшие свой ресурс. Для оценки технического состояния оборудования подстанции необходим непрерывный мониторинг, что позволит выявить зарождающиеся дефекты и принять меры по их дальнейшему развитию. Получаемая об электрооборудовании информация должна накапливаться в базе данных и использоваться для оценки технико-экономических показателей подстанции и для риск-ориентированного управления подстанцией.

Проведенный анализ работы оборудования одной из ПС напряжением 220/110/35 кВ и расчетная степень использования оборудования приведены в таблице.

Степень использования основного оборудования ПС 220/110/35

Оборудование	Паспортный срок эксплуатации, лет	Реальный срок эксплуатации, лет	Степень использования, %
силовой автотрансформатор 220/110/35	25	32	128
силовой трансформатор 110/35/10	25	34	136
Оборудование на напряжение 110 кВ			
выключатели баковые: ВЭБ-110, ЗАР1DT-145, 145PM	25	33	132
выключатели колонковые: ВГП-110, WCB LTB 170, ЗАР1FG-145, ВГТ-110;	40	33	82,5
разъединители: РГ(П)-110, РГД-110, РГП-110	30	33	110
трансформаторы напряжения: НАМИ-110, НДКМ-110, SPB	30	33	110
трансформаторы тока: ТБМО-110, ТГМ-110	30	33	110
ячейки: PASS M0	30	33	110
Оборудование на напряжение 35 кВ			
выключатели баковые: ВГБ-35, 48PM, VOX	30	33	110
выключатели колонковые: ВГТ-35, ОНВ 40, HPL 72, ВВСТ 35, ВВН-СЭЩ-Э-35	40	33	82,5
разъединители: РГ-35, РГП-35, РГП-СЭЩ-35	30	33	110
трансформаторы напряжения: НАМИ-35, SPB	30	33	110
трансформаторы тока: ТГМ-35	30	33	110
Оборудование на напряжение 10 кВ			
Комплектное распределительное устройство КРУ-6 (10) кВ на базе ячеек К-207	10	33	330

Как следует из приведенной таблицы, срок эксплуатации части оборудования может быть продлен путем проведения планово-предупредительных и капитальных ремонтов на основании оценки состояния оборудования в режиме непрерывного мониторинга.

ПС 220/110/35 кВ – проходная, которая является транзитной подстанцией. Питание подстанции выполняется по двум ВЛ – 220 кВ. Половина электроэнергии передается как транзит, по двум другим ВЛ – 220 кВ. Другие 50 % электроэнергии поступает на два автотрансформатора марки АДЦТН – 63000 220/110/35 кВ из которых 40 % электроэнергии с шин подстанции напряжением 110 кВ по двум ВЛ – 110 кВ исполняет питание РЖД, а по оставшейся ВЛ – 110 кВ, которая является транзитной, исполняется питание другой ПС. Остальные 10% электроэнергии поступает на два трансформатора марки ТДТН-25000 110/35/10 кВ. Электроэнергия напряжением 35 кВ передается для питания потребителей МРСК по двум ВЛ – 35 кВ.

Для регулирования напряжения в сетях 220 и 110 кВ и для ограничения ударного тока короткого замыкания на ПС 220/110/35 кВ к низшему напряжению автотрансформаторов к стороне 35 кВ подключен реактор марки РТД-20000/38,5. К шинам на напряжение 110 кВ подключена конденсаторная батарея марки БСК-110кВ, установленной мощностью 52 МВ·А,

для регулирования напряжения в сети и уменьшения реактивной мощности.

На ПС имеется ОРУ-220 кВ, ОРУ-110 кВ, которые имеют следующее конструктивное исполнение – две системы шин (СШ) с обходной системой шин (ОСШ).

ОРУ-35 кВ имеет конструктивное исполнение – одиночная секционированная масляным выключателем система шин, состоящая из 2-х секций.

Распределительное устройство типа КРУН-10 кВ состоит из двух секций и укомплектовано ячейками типа К-47, К-37, К-13.

ПС имеет три трансформатора для собственных нужд, ТМГ-630 10/0,4, ТМГ-250 10/0,4 и ТМ-250 10/0,4. Суммарная установленная мощность Т и АТ составляет 176 МВ·А.

На случай отказа ТСН ПС снабжена аккумуляторными батареями VARTA 6 OPzS 420 в двойном исполнении 840 А/ч. Резервным источником электроэнергии служит дизель-генератор ASKA (Турция) 410/328 кВ·А/к.

В настоящее время на подстанциях, как правило, обследования оборудования проводятся каждые три года, но информация о проведенных обследованиях хранится только за последние годы.

Одним из широко используемых методов является тепловизионное обследование оборудования – ис-

следуется поверхность или объект путем измерения его теплового излучения. Тепловизор преобразует инфракрасные излучения, поступающие от объекта наблюдения в электронную термограмму, которая отображается на дисплее. Цифровые электронные данные о температурном состоянии исследуемого объекта могут сохраняться на электронных картах памяти или на устройствах передачи и хранения информации. Для полной оценки технического состояния оборудования одного тепловизионного обследования недостаточно. В частности, для оценки работоспособности трансформатора необходимо учитывать техническое состояние отдельных его элементов: вводов, устройств РПН, охлаждающих насосов и др. На работоспособность трансформатора значительное влияние оказывает его загрузка, повышение напряжения сверх номинала [1], старение масляной изоляции и другие факторы. Аналогичным образом должны учитываться множественные факторы для другого оборудования подстанции.

Правильная оценка состояния электрооборудования позволяет принять решение о целесообразности его дальнейшей эксплуатации или замене.

Для оценки надежности электрооборудования наибольшее распространение получили следующие методы:

- аналитический;
- логико-вероятностный;
- таблично-логический;
- метод определения величины технического риска, соответствующего уровню технического состояния электрооборудования.

*Аналитический метод* используется для оценки надежности схемы любой сложности. Он позволяет определить количественные вероятностные значения показателей надежности в следующих случаях: полное нарушение схемы, разрыв транзита, оценка недоотпуска электроэнергии при частых авариях. Недоотпуск электроэнергии в этом методе определяется по формуле:

$$W_{нд\Sigma} = \sum P_{нд} \cdot t_{пр} = \sum P_{нд} \cdot K_{ПС} \cdot T, \quad (1)$$

где  $\sum P_{нд}$  – суммарный недоотпуск мощности в рассматриваемом случае;

$t_{пр}$  – время вынужденного простоя;

$K_{ПС}$  – коэффициент вынужденного простоя;

$T$  – период времени, за который рассчитывается надежность.

В *логико-вероятностном методе* оценка надежности системы осуществляется с помощью деревьев событий, т.е. описывается средствами математической логики, а оценка надежности осуществляется с помощью теории вероятностей, этот метод довольно сложный.

*Таблично-логический метод* применяется в тех случаях, когда разнообразие отказов системы велико и нет объективных данных о том, какие виды аварий могут возникнуть при различных воздействиях.

*Метод определения величины технического риска, соответствующего уровню технического состояния электрооборудования*, представляет собой совокупность таблично-логического и аналитического методов. Он основан на определении значения ИТСУ

– индекса технического состояния функционального узла единицы основного технологического оборудования, рассчитанного на момент проведения расчета вероятности отказа. Прогноз изменения индекса технического состояния функционального узла единицы основного технологического оборудования (за исключением линий электропередачи (ЛЭП)) описывается функцией  $y(t)$  по формуле:

$$y(t) = (1 - |\tan \alpha_{\phi yi}| \cdot t) \cdot \text{ИТСУ}/100, \quad (2)$$

где ИТСУ – значение индекса технического состояния функционального узла единицы основного технологического оборудования, рассчитанное на момент проведения расчета вероятности отказа в соответствии с методикой оценки технического состояния;

$t$  – время прогнозирования (с момента расчета и на прогнозный период 5 лет), лет;

$|\tan \alpha_{\phi yi}|$  – тангенс наклона функции прогноза изменения индекса технического состояния функционального узла единицы основного технологического оборудования, величина которого составляет 0,03 для ресурсопределяющих функциональных узлов единиц основного технологического оборудования (в нашем случае – для трансформаторов и автотрансформаторов).

Для оценки технического состояния оборудования принята бальная шкала параметров технического состояния функциональных узлов в пределах от 0 до 4. «0» означает, что измеренные параметры находятся за пределами допустимых значений, определяемых нормативной и технической документацией и (или) конструкторской (проектной) документацией, «4» – отсутствуют отклонения измеренных параметров от требований нормативной и технической и (или) конструкторской (проектной) документации, оборудование выполняет требуемые функции в полном объеме. Значения от 1 до 3-х соответствуют промежуточным состояниям электрооборудования.

Система АСУ строится на принципе получения информации. Есть два способа:

Первый – информацию получают с помощью датчиков. Такой способ носит название «АСУ технологическими процессами» (АСУТП).

В нем объектом управления является оборудование, а информация передается в виде сигналов (оптического, механического, электрического).

Второй способ носит название «Автоматизированные системы организационно-экономического управления».

В этом способе объектом управления являются люди, которые взаимодействуют с оборудованием. Информация же передается в виде отчетов. То есть персонал осуществляет проверку и делает отчеты о состоянии оборудования и загружает их в базу, а АСУ в свою очередь анализирует все отчеты и предоставляет конечный результат о работоспособности оборудования.

Из вышесказанного ясно, что лучшим решением является использование первого способа, так как:

- сокращается время на получение информации;
- уменьшаются расходы на персонал;
- удаляется человеческий фактор.

Этот метод, наряду с преимуществами, имеет недостатки:

- использование одной общей информационной шины;
- информационная уязвимость;
- возможность возникновения сбоя, что может привести к остановке процесса или выходу оборудования из строя. Поэтому полностью отказаться от персонала не представляется возможным.

Расчет индекса технического состояния функциональных узлов и обобщенного узла (ИТСУ) осуществляется по формуле:

$$ITSU = \sum_i \frac{(KB_i \cdot ОГП_i)}{4}, \quad (3)$$

где  $KB_i$  – значение весового коэффициента для  $i$ -ой группы параметров технического состояния;

$ОГП_i$  – балльная оценка  $i$ -ой группы параметров технического состояния, определенная.

Прогноз вероятности отказа функционального узла единицы основного технологического оборудования на 5 лет описывается функцией  $\Phi_{\phi i}(t)$  по формуле:

$$\Phi_{\phi i}(t) = (1 - y(t)) \cdot k_n, \quad (4)$$

где  $y(t)$  – функция изменения технического состояния функционального узла единицы основного технологического оборудования;

$k_n$  – коэффициент отношения величины индекса технического состояния функционального узла единицы основного технологического оборудования до и после последнего технического воздействия или в предыдущем и текущем календарном году.

Критерием целесообразности дальнейшей эксплуатации оборудования принят технический риск отказа  $R_{EO}$ , рассчитываемый по формуле [2]:

$$R_{EO} = P_{EO} \cdot Y_{EO}, \quad (5)$$

где  $P_{EO}$  – вероятность отказа единицы оборудования;

$Y_{EO}$  – последствия отказа единицы технологического оборудования, руб.

Вероятность аварии или степень риска позволяет определить допустимое значение риска не только с учетом затрат на конкретную дату, но и выполнить прогноз изменения затрат во времени.

Для рассматриваемой подстанции с напряжениями разработаны таблицы технического состояния наиболее важных элементов подстанции: трансформаторов и автотрансформаторов, в которых отражены следующие данные:

- измерения контрольных параметров в сравнении с нормами;
- анализ результатов комплекса измерений;
- оценка возможных опасных внешних воздействий;
- оценка состояния электрооборудования.

Произведен расчет индекса технического состояния электрооборудования и оценен срок окупаемости затрат в случаях: строительства новой цифровой подстанции, замене ранее установленных трансформаторов на новые трансформаторы и эксплуатации ранее установленных трансформаторов с проведением капитальных ремонтов.

Расчеты показали, что, учитывая техническое состояние трансформаторов и автотрансформаторов на сегодняшний день, затраты окупятся: при капитальном ремонте за 0,4 года, при установке новых трансформаторов – за 0,6 года. Строительство новой цифровой подстанции окупится за 6,3 года.

На рисунках 1 и 2 показано изменение доходов ПС 220/110/35 кВ при установке новых трансформаторов и ремонте старых.

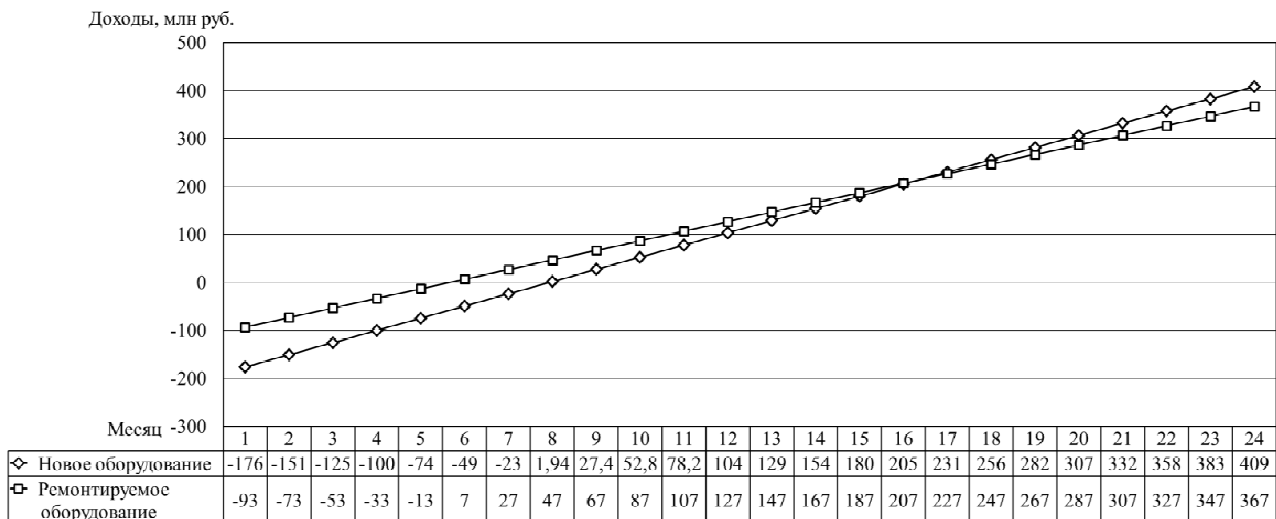


Рис. 1. Зависимость доходов от времени по месяцам

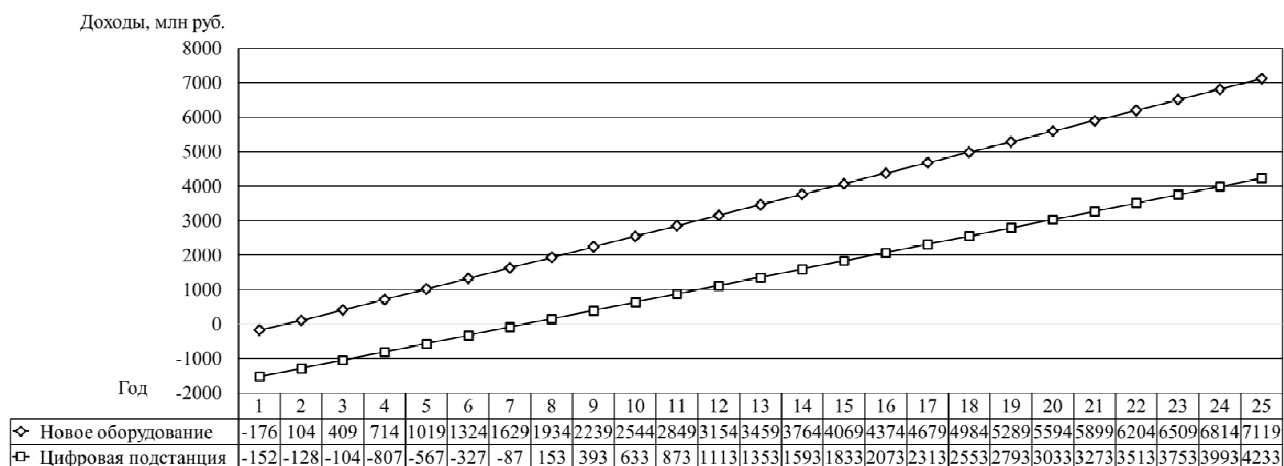


Рис. 2. Зависимость доходов от времени по годам

Расчеты показали, что на ПС, которые ожидают перехода на цифровой уровень, экономически выгодно продолжать обслуживать старое оборудование, уже отработавшее свой срок эксплуатации, производя частые ремонты.

Безопаснее и в дальнейшем экономически выгоднее производить своевременные замены старого оборудования на новое. Несмотря на то, что срок окупаемости нового оборудования выше, чем окупаемость затрат при ремонтах ранее установленного оборудования, в первом случае мы получаем:

- уменьшение потерь электроэнергии;
- существенное уменьшение риска выхода оборудования из строя;
- уменьшение затрат на ежегодное обслуживание, что приводит к росту дохода.

Выводы:

1. Строительство цифровых подстанций на сегодняшний день является весьма актуальной задачей, требующей больших вложений.

2. Замена существующих подстанций на цифровые подстанции целесообразна, когда оборудование исчерпало резерв.

3. Все методы оценки технического состояния оборудования применимы при определенных условиях, кроме метода определения величины технического риска. Он является совокупностью этих методов и применим при любых обстоятельствах.

4. При анализе целесообразности реконструкции существующей подстанции необходимо произвести

комплексную оценку технического состояния оборудования, рассчитав технический риск отказа  $R_{EO}$  электрооборудования.

5. Необходимо оценивать срок окупаемости затрат на цифровую подстанцию и мероприятий по продлению срока эксплуатации установленного ранее электрооборудования.

6. Для экономически эффективной эксплуатации подстанции необходимо применять АСУ технологическими процессами (АСУТП). Это позволяет сократить время на получение информации, уменьшить расходы на оплату работы персонала; исключает ошибки в принятии решений вследствие человеческого фактора.

## Литература

1. Старкова, Л. Е. Качество электрической энергии : учебное пособие / Л. Е. Старкова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Вологодский государственный университет. – Вологда : ВоГУ, 2015. – 87 с.

2. Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей : Приказ Министерства энергетики РФ от 26.07.2017 N 676. – Текст электронный // ГАРАНТ.РУ: информационно-правовой портал: сайт – URL: <https://base.garant.ru/71779722/> (дата обращения: 15.06.2020).

*L.E. Starkova, E.P. Balashov*

## ANALYSIS OF DIGITAL ELECTRIC POWER STATIONS IMPLEMENTATION EXPEDIENCY

The criteria of the performance of existing substations electrical equipment are considered. It is recommended to fully assess the technical condition of the equipment basing on the technical risks of electrical failure when analysing the expediency of the existing substation refurbishment.

Digital substation, electrical equipment, technical condition, risk of electrical failure, automated control system, operation, implementation, efficiency improvement.



**В.Д. Чертовской**  
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
 университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

## СИСТЕМНАЯ МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Рассмотрено и проанализировано системное описание модели процесса планирования в многоуровневой адаптивной автоматизированной системе управления производством с использованием однотипного представления уровней.

Производство, модель управления, многоуровневая, системная, однородный метод, математическое описание, моделирование, использование.

Одним из эффективных способов решения проблемы цифровизации экономики является системная автоматизация управления предприятием как многоуровневой системой с введением оптимального планирования, позволяющего получить экономическую выгоду и конкурентные преимущества. В настоящее время получены значительные результаты отдельно для технико-экономических процедур с агрегированным рассмотрением оперативных процедур и для оперативных процедур (при детальном представлении) совместно с теорией описания.

Раздельное планирование процедур не позволяет в полной мере использовать преимущества оптимизации, и потому настоятельно требуется интеграция этих описаний процедур, что укладывается в современную концепцию киберфизических систем [1]. Оценке возможностей системного математического описания и исследования названных процедур посвящена настоящая работа.

Для решения задачи используем подход, получивший в [2] название структурно-алгоритмического моделирования. Он предполагает определение цели исследования, выявление структуры системы и ее математическое описание, использование модели.

Целью настоящего исследования является изучение киберфизической системы (КФС). Структура такой системы может быть представлена [3], в виде, показанном на рисунке 1.

Она состоит из двух основных блоков (блоки 1 и 2) и вспомогательного блока 3. Основные блоки имеют теоретико-прикладное значение, тогда как блок 3 – чисто теоретическое.

Необходима интеграция блоков 1 и 2.

К математическим методам описания КФС предъявляются следующие требования:

1. Поддержка оптимального режима.
  2. Учет многоуровневой структуры системы.
  3. Наглядность и простота описания процесса планирования при малом времени расчетов в системе.
  4. Однородность описания всех уровней.
- Оценим с этих позиций известное описание блоков.

Системное описание блока 1 выполнено с использованием однородного метода и детально рассмотрено в работе [2]. Оно сформировано на основе анализа существующих методов и удовлетворяет перечисленным требованиям. Статический режим работы элемента 1 имеет следующий вид:

$$\sum_{i=0}^{I-1} D_1^m \mathbb{Q}_k(t_i) \leq b^m(0), \quad (1)$$

$$\sum_{i=0}^{I-1} \mathbb{Q}_k(t_i) \leq P(T), \quad (2)$$

$$D_k^\Psi p_k(t_{i+1}) \leq b_k^\Psi(t_i), \quad (3)$$

$$D_k^m p_k(t_{i+1}) \leq b_k^m(t_i), \quad (4)$$

$$b_k^\Psi(t_i) = b_k^\Psi(t_{i-1}) + \Delta b_k^\Psi(t_{i-1}), \quad (5)$$

$$G_k = F_k P_k(T) \rightarrow \max, \quad (6)$$

$$i = 0, N - 1, t_i = iv, t_0 = 0, T = Nv,$$

где  $p$  – вектор-столбец ежедневного плана,  $R$  – вектор-столбец спроса;  $D$  – матрица норм расходов ресурсов;  $b$  – вектор-столбец наличного количества ресурсов;  $b^m(0)$  – вектор количества материальных ресурсов, которыми располагает элемент 3 блока 1;  $\Delta b$  – поступление ресурсов;  $P$  – вектор-столбец плана элемента 3 блока 1;  $F$  – вектор-строка прибыли от выпуска единицы продукции;  $t_i, T$  – минимальный интервал времени и время моделирования;  $m = 1, M$  – виды материальных ресурсов;  $\psi = 1, \Psi$  – виды прочих ресурсов;  $i = 1, I$  – моменты времени;  $k = 1, K$  – номер элемента 1 блока 1.

Для блока 2 применен аппарат теории расписаний [5, 6]. Чтобы оценить описание с позиций сформулированных требований, его необходимо рассмотреть более подробно.

Здесь следует разделить синтез (проектирование) и функционирование системы. При функционировании необходимо согласование трех составляющих [5]: упорядочение, распределение и согласование (рис. 2).

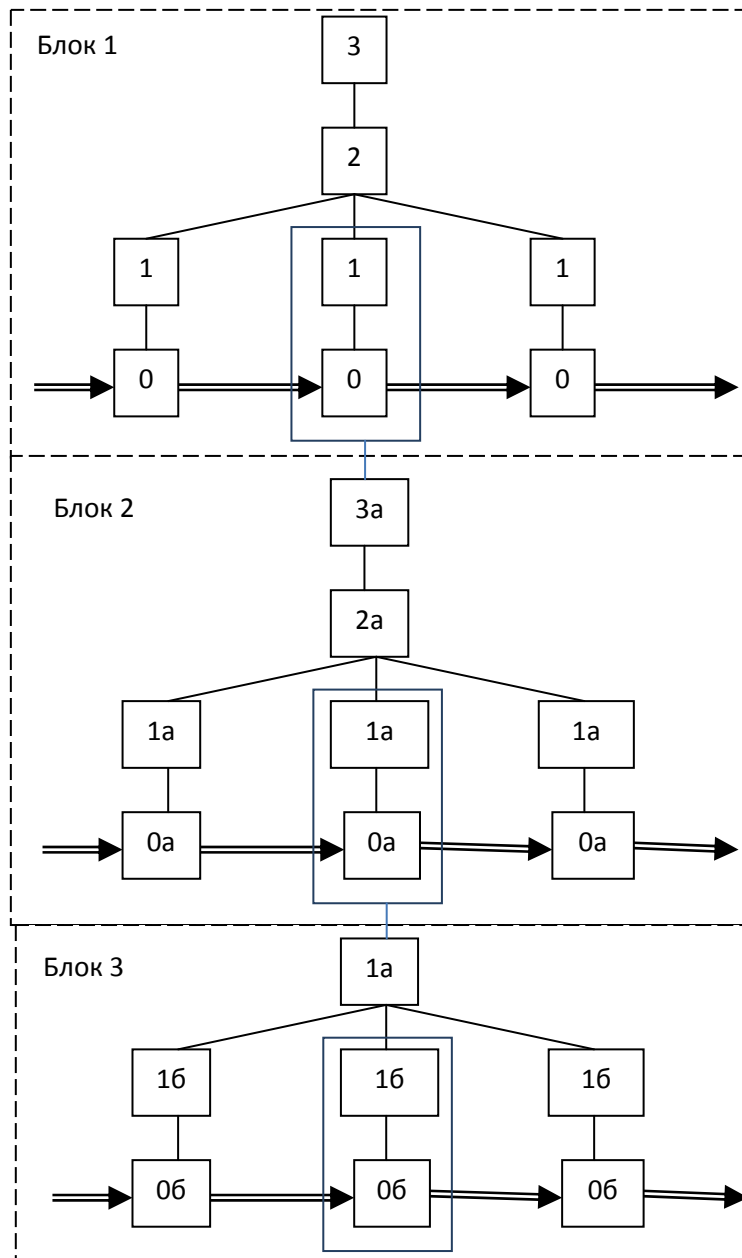


Рис. 1. Общая структура системы:  
 0 – цехи; 1 – начальники цехов; 2 – диспетчер; 3 – руководство;  
 0а – участки; 1а – начальник участка;  
 2а – цепочки участков; 3а – начальник цеха;  
 0б – часть участка; 1б – начальник части участка

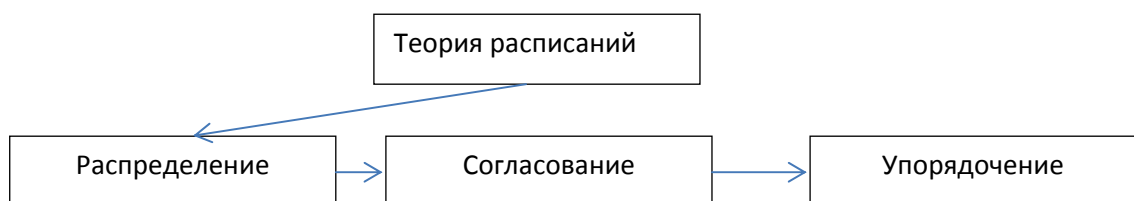


Рис. 2. Состав теории расписаний

Составляющая распределения определяет расположение обрабатываемой продукции по элементам оборудования. Названная составляющая характерна только для обработки на уровне участков или их частей.

Далее идет согласование: оно предполагает совместную работу отдельных участков или их частей и применяется как при обработке, так и при сборке. Понятие согласование имеет две разновидности [2]:

- 1) наличие связей между участками;
- 2) согласование экономических интересов участков, с использованием целевых функций.

В настоящей работе воспользуемся первой разновидностью.

Составляющие должны быть системно увязаны. Первоначально рассмотрим возможности отдельных составляющих с позиций их интеграции.

Наиболее сложной оказалась составляющая «упорядочение». Упорядочение – выстраивание продукции в очередь для обработки.

Составляющая «распределение» подробно представлена в работах [4, 9–11], в которых, видимо, впервые предпринята попытка системного соединения составляющих. Достаточно общее описание распределения для процедуры обработки имеет следующий вид [4].

Максимизируемый функционал для такой модели (элемент 1б рис. 1) определяет наибольшую прибыль от обработки выбранных деталей:

$$J = \alpha_1 \sum_{i=1}^L c_i x_i - \alpha_2 \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^m d_{ij} \wedge t_{ij}, \quad (7)$$

где  $x_i$  ( $i = 1, \dots, L$ ) – переменные,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – весовые коэффициенты,  $d_{ij}$  – стоимость подготовки и установки одного комплекта технологической оснастки и инструмента для обработки деталей  $i$ -го типа на  $j$ -м оборудовании.

Балансовые ограничения по времени имеют вид:

$$\sum_{i=1}^L x_i (t_{ij} + z_{ij} r_{ij}) + \wedge t_j \leq y_j T, \quad j = 1, 2, \quad (8)$$

где  $t_{ij}$  – время обработки  $i$ -й детали на  $j$ -м станке,  $\wedge t_j$  – вспомогательные параметры простоев,  $r_{ij}$  – время переналадки  $j$ -го оборудования на обработку деталей  $i$ -го типа,  $z_{ij}$  – количество оборудования  $j$ -го типа, которое будет использовано для обработки деталей  $i$ -го типа,  $y_j$  – количество единиц  $j$ -го оборудования, которое входит в состав производственного участка,  $T$  – интервал времени. Величины  $z_{ij}$  и  $y_j$  задаются.

Если имеется  $l$  типов ( $l = 1, M_j$ ) оборудования  $j$ , то размерность задачи увеличивается и переменным добавляется надстрочный индекс  $l$ .

Это же описание используется для групповой обработки деталей.

В работе [9] в выражения (7), (8) включается стоимость оборудования, производства оснастки, складов, накопителей, паллет.

В работе [11] на основе выражений (7), (8) проводится выбор оборудования при проектировании и модернизации системы.

В работе [10] согласование выполнено фактически на словесном уровне. В составляющей « согласо-

вание» в процессе обработки можно использовать [2] задачу линейного программирования. Для процесса сборки пригоден более сложный и точный вариант с использованием аппарата сетей Петри.

Истоки составляющей «упорядочение» восходят к задаче Джонсона для  $n$  станков (блок 0б рис. 1). Было найдено алгоритмическое решение для  $n=2$ ,  $n=3$  и для некоторых частных случаев при  $n=4$ . В то же время для прикладных целей более интересен вариант  $n>4$ . Ему посвящены исследования в работах [5–7]. В работе [10] рассматриваются модель детали-участка (элемент 1а рис. 1) и словесная модель упорядочения (задача Джонсона) для обработки и сборки.

В публикации-обзоре [7] выделены следующие методы решения: комбинаторный анализ, математическое программирование, статистическое моделирование и направленный перебор по методу ветвей и границ. Отмечены как наиболее распространенные комбинаторный анализ и перебор по методу ветвей и границ [8].

Вместе с тем считается, что наиболее перспективным для описания составляющей «упорядочение» является сочетание комбинаторного метода и метода оптимизации [12]. Назовем этот метод комбинаторно-оптимизационным.

В нем на основе матрицы с элементами  $a_{ij}$  ( $i=1, m$ ), ( $j=1, n$ ) норм обработки деталей  $i$  на станках  $j$  выделяются следующие этапы:

1. Определяются необходимые условия для перестановок пар соседних граф. В графах выделяются гамильтоновы пути столбцов  $i$  и  $j$  в последовательности обработки. Строится соответствующий граф названных пар столбцов.
2. Определяются достаточные условия для перестановок с построением графа.
3. В графе выделяются гамильтоновы пути.
4. Для них подсчитывается общая длительность обработки и выбирается путь с наименьшим значением.

Проведенный анализ позволяет сделать такое заключение: составляющая «распределение» рассмотрена для случая обработки. Составляющая «согласование» фактически не обсуждается: для сборки приведена лишь словесная модель. Для составляющей «упорядочение» наиболее подходит комбинаторно-оптимизационный метод.

Приведем системное описание блоков (рис. 1). Элементы 1 и 3 блока 1 можно представить выражениями вида (1)–(6). В работах [2, 3] отмечалось, что выражения справедливы для процедур обработки. Однако если матрицу  $D$  норм расходов ресурсов заменить на матрицу применяемости («узел – изделие» или «ресурсы – узел»), то получится описание процедуры сборки.

Элемент 2 блока 1 имеет вид

$$D_k^m p_k(t_{i+1}) \leq p_{k-1}(t_i), \quad k=2, K, \quad (9)$$

$$G = \sum_{k=1}^K G_k \rightarrow \max. \quad (10)$$

Достоинством описания вида (1)–(6) является возможность учета динамики процесса планирования,

например при оперативном переходе на выпуск новой продукции:

$$z_k(t_i) = A_k z_k(t_{i-1}) + B_k p_{1k}(t_{i-1}), z_k(0) = z_{k0}, \quad (11)$$

$$p_k(t_i) = F_k z_k(t_{i-1}), \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} D_1^m \mathbb{Q}_{1k}(t_i) \leq b^m(0), \quad (13)$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} \mathbb{Q}_K(t_i) \leq P(T), \quad (14)$$

$$D_k^\Psi p_k(t_{i+1}) \leq b_k^\Psi(t_i), \quad (15)$$

$$D_k^m p_k(t_{i+1}) \leq b_k^m(t_i), \quad (16)$$

$$b_k^\Psi(t_i) = b_k^\Psi(t_{i-1}) + \Delta b_k^\Psi(t_{i-1}), \quad (17)$$

$$G_k = F_k P_k(T) \rightarrow \max, \quad (18)$$

$$i = 0, N-1, t_i = iv, t_0 = 0, T = Nv,$$

где  $z$  – вектор-столбец (планового) незавершенного производства;  $p_1$  – вектор-столбец размерности  $J$  запуска комплектов ресурсов в производство,  $P$  – вектор-столбец плана элемента 1 блока 1;  $A, B, C$  – единичные матрицы соответствующих размерностей.

Для интеграции блока 1 с блоком 2 в последнем следует рассмотреть три составляющие (рис. 2).

За основу описания составляющей «распределение» блока 2 удобно принять выражения (7), (8). Перепишем их в векторно-матричной форме для элементов 1а:

$$G_r = f_r p_r \rightarrow \max, \quad (19)$$

$$D_r \mathbb{Q}_r + S_r \leq y_r T - T_{1r}, \quad (20)$$

где  $D_r = \{t_{qj}\}$  – матрица времени обработки  $j$ -й детали на  $q$ -м оборудовании,  $T_{1r} = \{t_q\}$  – вектор времени простоев,  $S_r = \{z_{qj} r_{qj}\}$  – матрица времени переналадки,  $r_{qj}$  – норма времени переналадки  $q$ -го оборудования на обработку деталей  $j$ -го типа,  $z_{qj}$  – количество оборудования  $q$ -го типа, которое будет использовано для обработки деталей  $j$ -го типа,  $Y = \{y_q\}$  – вектор количества единиц  $q$ -го оборудования, которое входит в состав производственного участка,  $p_r = (p_j)$  – количество обработанных деталей;  $T$  – интервал времени;  $r$  – номер структурного элемента участка.

Введем ограничения по материальным ресурсам:

$$D_r^m p_r \leq b_r^m, \quad (21)$$

где  $f$  – вектор-строка прибыли;  $p$  – вектор-столбец выхода;  $r$  ( $r = 1, R$ ) – номер участка;  $D^m$  – матрица норм расходов материальных ресурсов;  $b^m$  – количество материальных ресурсов;  $m = 1, M$  – виды материальных ресурсов. Если  $D^m$  – единичная матрица, то отражается процедура обработки. В противном случае описывается процедура сборки.

Выражение (21) позволяет связать составляющую «распределение» с составляющей «согласование»:

$$D_r^m p_r \leq p_{r-1}, \quad (22)$$

$$G = \sum_{r=1}^R G_r \rightarrow \max. \quad (23)$$

Выражения (22), (23) могут быть использованы для отображения случая групповой обработки без изменения состава групп.

Случай переформатирования групп можно отразить таким образом. Между элементами  $k$  и  $(k+1)$  вставляется матрица  $V_k = V_{k1}(gr_k \times b_k) V_{k2}(b_k \times gr_{k+1})$ , где  $gr_k$  – группы соответствующих элементов,  $b_k$  – исходные ресурсы элемента  $k$ .

Для процедуры сборки надо учитывать матрицу применимости  $D_r^m$  (например, «детали – узел»), которая определяет комплект, позволяющий начать сборку. Если в комплект входит  $s$  деталей  $d$ , то норму времени в матрице следует увеличить в  $s$  раз.

Приведенное описание скорее можно назвать квазиоптимальным. Полной оптимальности можно добиться, используя комбинаторно-оптимизационный метод [12]. Он справедлив для процедуры обработки.

Выражения (19)–(23) представляют идею интегральной модели. Возможны ее многочисленные варианты, как показано в работе [4].

Для блока 2 возможно использовать и описание динамики аналогично выражениям (11)–(18).

Для блока 3 (рис. 1) применимы выражения, справедливые для блока 2.

Для прикладного использования полученной модели ее необходимо настроить и апробировать. Для этого нужны числовые данные. Их можно получать из самой системы или путем моделирования.

Рассмотрим процедуру построения модели. Пусть для элементов 1 блока 1 (рис. 1) имеется описание

$$D_k P_k \leq b_k,$$

$$G_k = F_k P_k \rightarrow \max.$$

Назовем эти выражения прямой задачей и перепишем ее в другом виде:

$$\text{Дано } D_k, b_k, F_k, \text{ найти } P_k.$$

Введем обратную задачу:

$$\text{Дано } D_k, F_k, P_k, \text{ найти } b_k.$$

Теперь можно перейти к получению числовых данных (идентификации). Первоначально решается обратная задача для последнего элемента 2 задачи  $K$  блока 1. Используя соотношение

$$P_{k-1} = b_k,$$

и решая последовательно ( $K-1$ ) обратных задач, получим данные для элемента 2 блока 1.

Аналогично получают данные для блока 1.

На основе данных для элемента 2 блока 1 вычисляются данные для элемента 3 блока 1:

$$D = \prod_{k=1}^K D_k,$$

$$F = \sum_{k=1}^{K-1} F_k \prod_{r=k+1}^K D_r,$$

$$\text{где } r = \begin{cases} k+1, & k < K, \\ 0, & k = K, \end{cases}$$

$D_0 = E$ ,  $E$  – единичная матрица.

Получаются данные, согласованные по экономическим интересам. При необходимости возможно в режиме диалога смоделировать несогласованные данные.

В элементах 2а и 1а блока 2 фактически проводится уточнение расчетов элементов 2 и 1 блока 1. Для этого используются выражения (19) и (20).

Расчет по этим выражениям в силу значительного количества переменных носит в сильной мере неформальный (неоднозначный) характер. Рассмотрим одну из возможных технологий.

1. Первоначально при заданных величинах  $D, S, y$  и  $T$  определяются величины  $\square_R$ . При этом значения  $y$  могут иметь несколько значений в пределах от 0,65 до 1.

2. При заданных значениях  $D, S, y, p_r$ , и  $T$  определить предельное значение  $T_1$ . Для этого следует при ограничениях (19) использовать целевую функцию

$$\sum_{q=1}^q t_q \rightarrow \max.$$

Эту же задачу можно использовать для определения величины  $T$ .

Далее выполняются вычисления для для остальных элементов 2а и 1а блока 2.

Для блока 3 при необходимости проводятся вычисления, аналогичные расчетам в блоке 2.

Заметим, что при этом получают данные для составляющей «упорядочение». Для нее удобно использовать комбинаторно-оптимизационный метод. Напомним, что метод базируется на матрице норм обработки деталей  $A = A(a_{ij})$  размерности  $m \times n$  («станок – деталь»).

Метод отличается высокой трудоемкостью. С увеличением величины  $m$  резко растет количество достаточных условий.

Так для  $m=2$  достаточные условия имеют вид

$$a_{11} \wedge a_{2j} \leq a_{1j} \wedge a_{2i},$$

тогда как уже для  $m=4$  условия таковы

$$a_{11} \wedge a_{2j} \leq a_{1j} \wedge a_{2i},$$

$$a_{21} \wedge a_{3j} \leq a_{2j} \wedge a_{3i},$$

$$(a_{11} + a_{21}) (a_{11} + a_{3j}) (a_{2j} + a_{3i}) \leq (a_{1j} + a_{2j}) (a_{1j} + a_{3i}) (a_{2i} + a_{3j}).$$

Сказанное справедливо и для необходимых условий.

Не менее трудоемка операция построения графов и выделения гамильтоновых путей. К тому же, как отмечено в [12], только в 80 % случаев расчета результат оказался строго оптимальным. В 20 % случаев отличие от оптимального составило менее 3 %. Это ограничивает размерность задач ориентировочными значениями  $m=50, n=100$ .

Более целесообразно делить высокоразмерные задачи на последовательные блоки меньшей размерности.

В силу сказанного упорядочение применяют редко, ибо к тому же получающаяся неоптимальность по времени может быть легко скомпенсирована увеличением коэффициента загрузки оборудования в выражении (19).

В процедуре использования первоначально решается прямая задача для элемента 3 блока 1. Затем вы-

полняются расчеты для элемента 2 блока 1 на более коротких интервалах времени. Здесь возможны два варианта: использовать обратную задачу или решать высокоразмерную прямую задачу линейного программирования. В первом варианте при необходимости решается задача согласования экономических интересов.

Во втором варианте возможно последовательное решение задач для элементов 1 блока 1.

После этого для блоков 2 и 3 проводятся такие же расчеты, как и в процедуре построения модели.

Таким образом, сформирована блочная многоуровневая модель системы управления производством. Выполнена интеграция процессов технико-экономического и оперативного управления. Проведен анализ составляющих процесса оперативного управления. Показана связь составляющих распределения, согласования и упорядочения. Приведено совместное математическое описание процедур обработки и сборки. Рассмотрены технологии синтеза (построения) и анализа (использования) модели многоуровневой интегрированной системы управления производством. Созданы предпосылки для описания различных особенностей систем.

## Литература

1. Industry 4.0: A Solution towards Technology Challenges of Sustainable Business Performance / M. Haseeb, H. Hussain, B. Slusarczyk, K. Jermstittiparsert // Social Sciences. – 2019. – Vol. 8 (5). – P. 154.
2. Чертовской, В. Д. Интеллектуализация автоматизированного управления производством / В. Д. Чертовской. – Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербургского университета, 2007. – 164 с.
3. Чертовской, В. Д. Моделирование процессов адаптивного автоматизированного управления производством / В. Д. Чертовский. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 216 с.
4. Хоботов, Е. Н. Использование оптимизационно-имитационного подхода для решения задач планирования и выбора маршрутов обработки / Е. Н. Хоботов // Автоматика и телемеханика. – 1996. – Вып. 1. – С. 121–128 ; Вып. 2. – С. 147–155.
5. Танаев, В. С. Введение в теорию расписаний / В. С. Танаев, В. В. Шкурба. – Москва : Наука, 1975. – 256 с.
6. Танаев, В. С. Теория расписаний: многостадийные системы / В. С. Танаев, Ю. Н. Сотсков, В. А. Струевич. – Москва : Наука, 1989. – 328 с.
7. Левин, В. И. Оптимальное планирование работ в конвейерных системах / В. И. Левин, И. Ю. Мирецкий // Автоматика и телемеханика. – 1996. – Вып. 6. – С. 3–30 ; Вып. 2. – С. 129–136.
8. Большаков, В. А. Задачи планирования дискретного (штучного) производства и численные методы их решения / В. А. Большаков, А. П. Уздемир, В. В. Шмелёв // Автоматика и телемеханика. – 1975. – № 9. – С. 115–122; 1975. – № 10. – С. 98–112; 1976. – Вып. 1. – С. 146–156.
9. Хоботов, Е. Н. Использование оптимизационно-имитационного подхода для моделирования и проектирования производственных систем / Е. Н. Хобо-

тов // Автоматика и телемеханика. – 1999, Вып. 8. – С. 163–176; Вып. 9. – С. 154–161.

10. Хоботов, Е. Н. О некоторых моделях и методах решения задач планирования в дискретных производствах / Е. Н. Хоботов // Автоматика и телемеханика. – 2007. – Вып. 12. – С. 85–100.

11. Павлов, К. С. Модели выбора и замены оборудования в производственных системах машиностро-

ительных предприятий / К. С. Павлов, Е. Н. Хоботов // Автоматика и телемеханика. – 2015. – № 12. – С. 105–143.

12. Левин, В. И. Задача  $m$  станков при ограничениях на порядок следования деталей / В. И. Левин // Автоматика и телемеханика. – 1987. – Вып. 3. – С. 107–116.

*V.D. Chertovskoy*

#### **SYSTEM MULTILEVEL MANUFACTURING CONTROL MODEL**

The system description of the planning process model in the multilevel adaptive automated production control system using the same level representation is considered and analyzed.

Manufacturing, control model, multilevel system, homogeneous method, mathematical description, simulation, use.



## АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНОЙ СЕМАНТИКИ

Статья посвящена проблемам анализа текстов. Ввиду увеличения количества информации возникает необходимость разработки инструментов с целью фильтрации, формирования смыслового портрета, а также навигации по базам данных и получения необходимой текстовой информации.

Информационный поиск, обработка естественно-языковых текстов, разработка системы семантического анализа.

Объемы информации, циркулирующие в информационно-вычислительных системах, с каждым годом возрастают все быстрее. В 2011 году мировой объем данных составил более 1,8 зеттабайт (1,8 трлн Гб). По данным исследования International Data Corporation (IDC) установлено, что объемы данных удваиваются каждые два года. Так, к 2020 году объемы информации, которой необходимо управлять, вырастут в 50 раз. При этом доля полезной информации составит всего 35 %. Количество текстовой информации также будет пропорционально увеличиваться. Вместе с этим, учитывая сложную структурированность естественно-языковых текстов, анализ текстов представляет собой актуальную проблему [1]. Разработка эффективных подходов к обработке текстов с целью фильтрации, формирования смыслового портрета, навигации по базе текстов и т.д. является одним из наиболее актуальных направлений современных информационных технологий.

Возможность управления и анализа больших объемов текстовой информации, получение из хранилища необходимых данных предоставляют методы и инструменты текстовой аналитики, широко используемые в сфере информационного поиска.

Под информационным поиском (information retrieval) чаще всего понимают поиск в некоторой коллекции неструктурированных данных (чаще всего текстовых), которые удовлетворяют информационным потребностям лица, проводящего поиск. Под неструктурированными данными понимают информацию, которая не имеет строгой организации, подразумевающей быструю автоматическую обработку.

В большинстве традиционных поисковых систем используются следующие виды поиска:

1. Двоичный поиск. Поисковая машина определяет наличие/отсутствие слов запроса в целевом тексте. В качестве запроса используется список слов. Результаты поиска не сортируются или сортируются на основе внешних по отношению к поиску данных (например, по дате создания документов).

2. Частотный поиск. Учитывается частота встречаемости ключевых слов в исходных документах. Результаты сортируются на основе частоты встречаемости.

Этот вид поиска отличается от двоичного дополнительной метрикой.

3. Поиск по рубриктору. Рубриктор может создаваться как вручную, так и автоматически. Когда речь идет об автоматическом создании рубрикторов, то говорят о кластеризации – объединении документов на основе сходства или поиск документов определенной тематики.

4. Поиск по вопросу на естественном языке. Пользователь вводит вопрос на естественном языке. А система пытается ответить на поставленный вопрос.

5. Поиск с учетом ссылочных характеристик. Большинство методов являются расширениями двоичного поиска. В общем смысле все подобные методы реализованы на основе поиска по ключевым словам. Следовательно, результат поиска зависит от присутствия или отсутствия ключевых слов в исходном тексте. Однако основная проблема естественного языка заключается в том, что он обладает двусмысленностью. В этом случае слова могут быть связаны с другими словами внутри предложения, вне его, и, возможно, с общим окружением.

Инструменты текстовой аналитики позволяют собирать, систематизировать и анализировать текстовые данные в автоматическом режиме при помощи лингвистических правил, статических методов и алгоритмов семантического разбора естественно-языковых сообщений.

Семантика занимается анализом отношений между знаками и обозначаемыми объектами, между словами и соответствующими им понятиями, а также изучает отношения между значениями простых знаков и значениями сложных знаков, составленных из простых. Например, отношения между значением слов и значением предложений, построенных из этих слов.

В сфере информационного поиска семантический анализ используется для решения задачи понимания машиной естественных текстов.

Целью семантического анализа является переход от структуры синтаксических связей к ее смысловой интерпретации [2]. На выходе формируется множество семантических структур, построенных в соответствии с принятой формальной нотацией (семантической моделью).

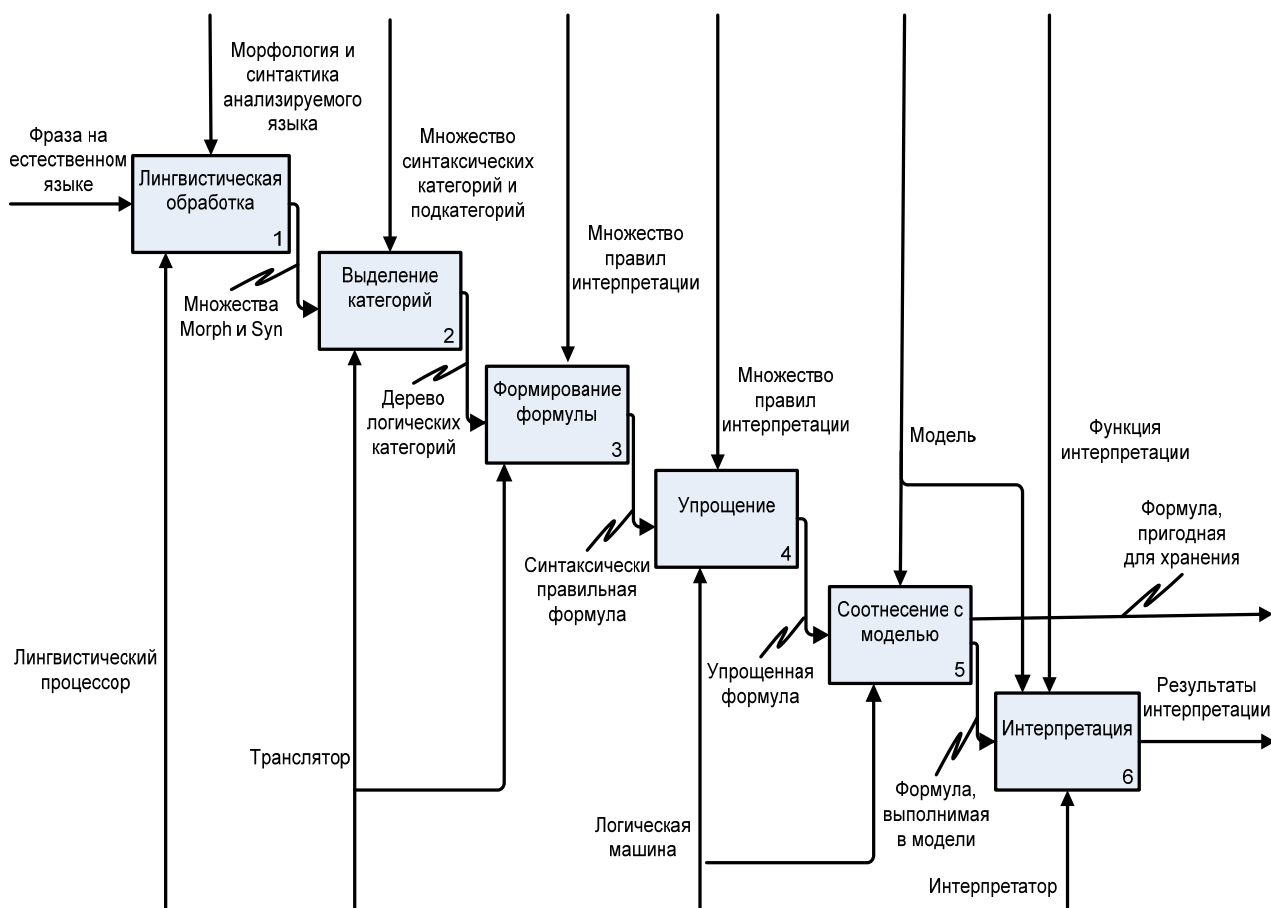


Рис. 1. Метод автоматической семантической обработки информации на основе формальной семантики

В работе [3] была рассмотрена проблема системы семантического поиска информации на предприятии. В связи с этим актуальным становится разработка системы обработки естественно-языковых текстов для повышения качества результатов поисковых запросов.

Для разработки используется метод автоматической семантической обработки информации на основе формальной семантики. В общем виде алгоритм будет выглядеть следующим образом (рис. 1).

В ходе выполнения система должна пройти все шесть этапов. Рассмотрим каждый этап выполнения.

1. Морфологическая и синтаксическая обработка фразы (лингвистическая обработка). Формируется два множества значений. В первое множество выделяются слова и их характеристики. Во второе заносятся синтаксические категории, выделяемые данным анализатором. Другими словами второе множество определяет отношения подчиненности древовидной структуры синтаксического построения групп. Второе множество при этом связано с характеристиками из первого с помощью функции соотнесения.

Можно выделить следующие основные характеристики: начальная форма, часть речи. К данным характеристикам по необходимости могут добавляться дополнительные.

Для реализации множеств целесообразно использовать базу данных. Для первой таблицы можно выделить следующие поля: уникальный идентификатор

(id), слово, часть речи, начальная форма, номер в предложении, номер предложения в тексте.

Для второй основными полями можно выделить уникальный идентификатор (id), наименование категории, множество подкатегорий.

2. Выделение синтаксических категорий и подкатегорий. Рассмотрение альтернатив. Рассматриваем созданную древовидную структуру с целью большей формализации исходного документа. Происходит объединение категории в более крупные или разделение на подкатегории на основе созданной базы подчиненностей.

3. Перевод фразы в формулу логики на основе набора категорий и правил трансформации. На основе набора категорий и правил трансформации строится формула логики, являющаяся отображением фразы естественного языка на формальном языке формул.

Функция реализуется на основе таблицы категории, проходя по всем подкатегориям и соотнося синтаксическую группу с категориальным определением.

4. Упрощение полученной формулы. Полученная формула чаще всего будет избыточна. В целях упрощения дальнейшей обработки и хранения возможно ее упрощение. Поэтому упрощение связано с последовательным применением сокращением взаимно уничтожающих друг друга операторов получения интенсионала и экстенсионала выражения.

5. Соотнесение полученной формулы с выбранной моделью. Проверка на выполнимость полученной формулы в данной модели. Результатом этой операции является знание о том, что формула не противоречит модели. В этом случае ее можно интерпретировать или добавить в общее хранилище знаний.

6. Интерпретация полученной формулы в модели. На данном этапе возможно использование формулы в реальных системах, в которых может использоваться управление на естественном языке. Таким образом, алгоритм может перевести сообщения на язык, понятный машине: набор управляющих сигналов.

Правила, на которые система будет опираться, получая входные данные:

1. Документ содержит текст, который, в свою очередь, состоит из предложений.

2. Каждому предложению в тексте присваивается порядковый номер.

3. Предложения содержат множества слов, которые состоят из слов. Словам присваиваются порядковые номера.

4. Возможное число предложений определяется исходным текстом (в том числе – ноль).

5. Для продвижения по алгоритму каждое слово должно иметь как минимум одну характеристику – форму, в которой оно было употреблено в предложении. В зависимости от сложности и разнообразия слов может возникнуть ситуация невозможности определения дополнительных морфологических характеристик слова: начальная форма, часть речи, род, падеж и другие.

6. Предложения содержат множества слов.

7. Множества слов бывают двух типов – группы и клаузы. Клаузы могут содержать группы, но не наоборот.

Графическое представление алгоритма построения формул интенциональной логики на основе дерева синтаксических категорий представлено на рисунке 2.

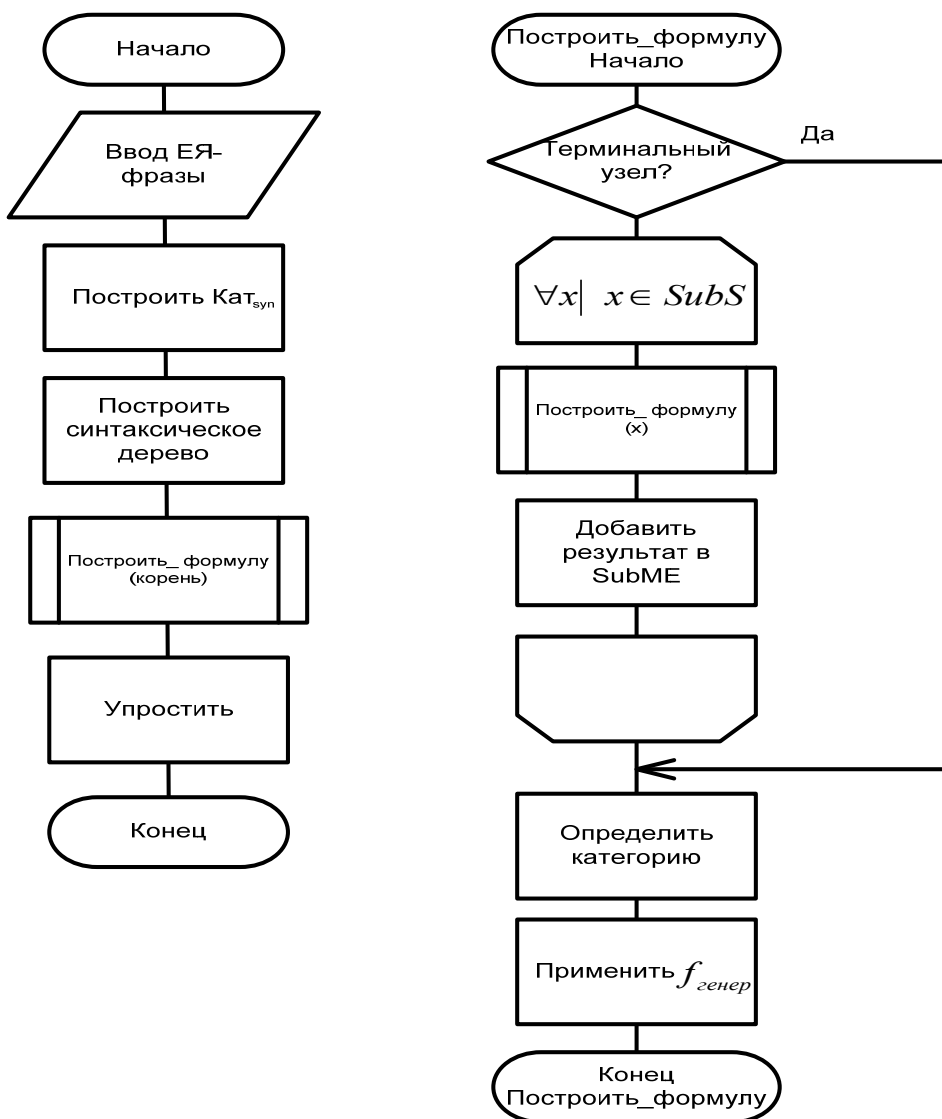


Рис. 2. Графическое представление алгоритма построения формул интенциональной логики

Основную часть алгоритма занимает функция построения формулы, основанная на рекуррентном обходе дерева для построения подформулы узлов. При правильно построенном дереве последовательность действий, описанная в данном алгоритме, всегда конечна.

Результатом данного алгоритма станет не только законченная формула интенциональной логики, но и дерево категорий, породивших данную формулу. Обходя дерево, можно узнать, о каком действии говорится, кто его совершает (субъект), над чем (объект) и при каких обстоятельствах (место, время и т.д.). Это дерево может использоваться или перестраиваться для получения более адекватных формул на основе дополнительных правил.

Разработка алгоритма осуществляется средствами языка C++ с использованием следующих дополнительных инструментов:

– Microsoft Visual Studio – интегрированная среда разработки (IDE) программного обеспечения и других инструментальных средств;

– Библиотека Strutext – инструмент для обработки текстов на естественном языке на различных уровнях представления. Используется для разработки алгоритма первичной обработки исходного текста. При выделении множества категорий и подкатегории необходимо провести морфологический анализ всего текста. Для построения множеств, форм слов необходимо проверить каждое слово. В библиотеке реализована функция поиска по встроенному словарю с последующим выделением основы слова и его лексических атрибутов;

– My Sql Community – система управления реляционными базами данных. Используется для реализации иерархической структуры при построении дерева множеств форм слов и их дополнительных характеристик;

– Библиотека Boost – набор библиотек для языка программирования C++. Используется как вспомогательное средство для расширенной работы с базами данных.

Анализ текстов на естественном языке позволяет не только выделить основные смысловые части текста, но и представить их в интуитивно понятном человеку графическом виде. Рассмотренный алгоритм планируется применять для анализа естественно-языковых текстов в корпоративных информационных системах предприятий и организаций.

### Литература

1. Gantz, J. Extracting Value from Chaos / J. Gantz, E. Reinsel // IDC's Digital Universe Study, sponsored by EMC. – 2011. – 12 P.

2. Бах, Э. Неформальные лекции по формальной семантике : перевод с английского / под редакцией О. А. Митрофановой, О. В. Митрениной ; предисловие Б. Парти. – Москва : ЛИБРОКОМ, 2010. – 224 с.

3. Летовальцев, В. И. Мультиагентная система поиска информации на промышленном предприятии / В. И. Летовальцев, А. Н. Швецов // Программные продукты и системы. – 2012. – № 2. – С. 62 – 67.

*A.N. Shvetsov, A.V. Kolosov*

### AUTOMATIC INFORMATION PROCESSING BASED ON FORMAL SEMANTICS

The article is devoted to the problems of text analysis. Considering the increase in the amount of information, it becomes necessary to develop tools for filtering, forming a semantic portrait, as well as navigating through databases and obtaining the necessary textual information.

Information search, processing of natural language texts, development of a semantic analysis system



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭВАКУАЦИИ НА ОСНОВЕ АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПОДХОДОВ

Рассматривается задача моделирования процессов эвакуации людей из объектов социального назначения, которая рассматривается на примере учебного корпуса № 2 Вологодского государственного университета. Рассматривается реализация алгоритма поиска безопасного пути в условиях пожара программными средствами пакета Unity. Приводятся численные результаты имитационного моделирования процесса эвакуации из данного учебного корпуса.

Мультиагентное моделирование, эвакуация в условиях пожара, алгоритм поиска пути, результаты имитационного моделирования.

Эвакуация – организованный процесс передвижения людей из зоны воздействия опасных факторов пожара. В современных зданиях, таких как корпуса учебных заведений, эвакуация при возникновении пожара имеет повышенное значение. Пожары на таких объектах часто протекают по быстроразвивающемуся сценарию. В местах большого скопления людей реальную опасность в экстренной ситуации представляет возникновение паники, хаотичность передвижений и давка на выходах из здания.

Правильно организованные пути эвакуации обязаны обеспечивать безопасное и беспрепятственное передвижение людей. Маршруты движения должны проходить по кратчайшим траекториям, ведущим к аварийным выходам. Для предотвращения возникновения давки и «пробок» на путях движения важно правильно распределять потоки людей, учитывая пропускную способность выходов.

Агентно-ориентированные программы для проведения симуляций используют интеллектуальных агентов (от одного до множества), которые взаимодействуют друг с другом, а также внешней средой, которая в свою очередь учитывает результаты этих взаимодействий. Интеллектуальные агенты могут преследовать общую коллективную цель или стремиться к достижению собственных индивидуальных целей.

Агент – термин, означающий «двигать», «привести», происходит из латинского глагола *agere*. Для выполнения функций, заданных пользователем, агент должен обладать достаточной компетенцией в выбранной сфере задач, чтобы заменить действия пользователя в системе [1].

В докладе рассматривается программное средство для проведения симуляции эвакуации при пожаре в учебном корпусе № 2. Построены трехмерные карты этажей по утвержденному плану эвакуации. Интеллектуальные агенты, находясь в учебных аудиториях, покидали их и направлялись к ближайшему выходу из здания или же к выходу, указанному в начальных параметрах моделирования. В разработанной мультиагентной системе представлено несколько режимов

симуляции процесса эвакуации с различным числом участвующих интеллектуальных агентов, от нескольких десятков до нескольких тысяч. Каждый режим включается отдельно в меню пользователя, время отсчитывается от начала эвакуации с того момента, когда интеллектуальный агент начал свое движение. Программным средством реализации системы является язык C# в среде разработки Unity3D [2].

В разработанном приложении «Эвакуация» агенты ищут кратчайший путь до своей цели, используя специальные инструменты среды разработки Unity3D, такие как Nav Mesh (Navigation Mesh) навигационный меш (набор различных вершин и/или многоугольников, представляющих форму трехмерного объекта в среде) или другими словами навигационную карту, по которой происходит движение интеллектуального агента.

Поиск кратчайшего пути осуществляется агентом на основе алгоритма A\*, поддерживаемого средой разработки Unity3D. Данный алгоритм реализует эвристический поиск, сортирующий все узлы по приближению к наилучшему маршруту, идущему через данный узел. Формула эвристики выражается следующим образом:

$$f(n) = g(n) + h(n),$$

где  $f(n)$  – значение оценки, назначенное узлу  $n$ ,  $g(n)$  – наименьшая стоимость прибытия в узел  $n$  из точки старта,  $h(n)$  – эвристическое приближение стоимости пути к цели от узла  $n$ .

Данный алгоритм сочетает в себе учет длины своего предыдущего пути, в соответствии с известным алгоритмом Э. Дейкстры и эвристикой, заимствованной из алгоритма «лучший-первый» (рис. 1).

Навигационная карта, созданная в среде разработки Unity3D, представляет собой непрерывное пространство. Для нахождения кратчайшего пути в этом пространстве алгоритм A\* применяет дискретизацию пространства, используя ячейки, точки видимости, выпуклые полигоны, квадратные деревья, обобщенные цилиндры, потенциальные поля (рис. 2) [3].

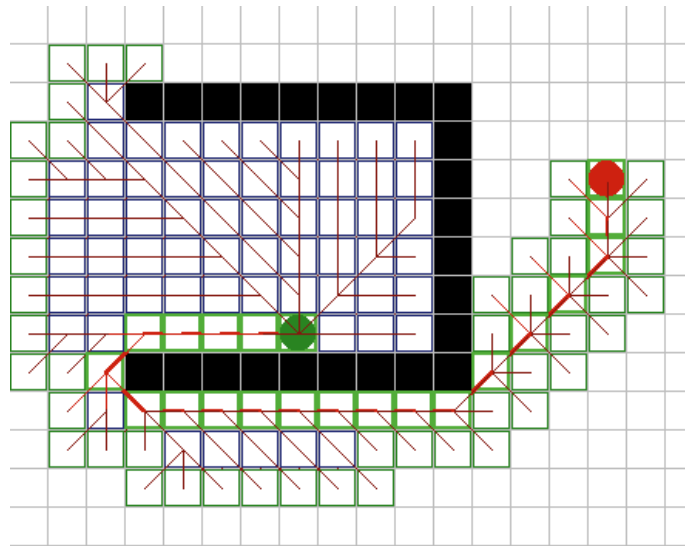


Рис. 1. Алгоритм A\*

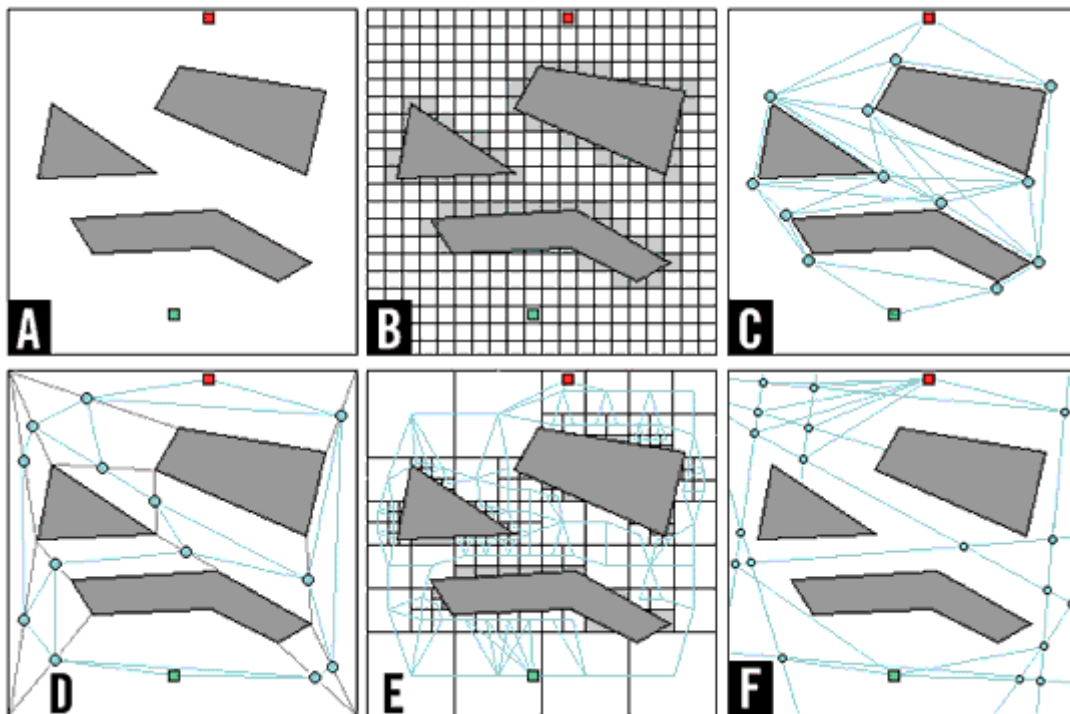


Рис. 2. Графическое представление алгоритмов деления пространства поиска

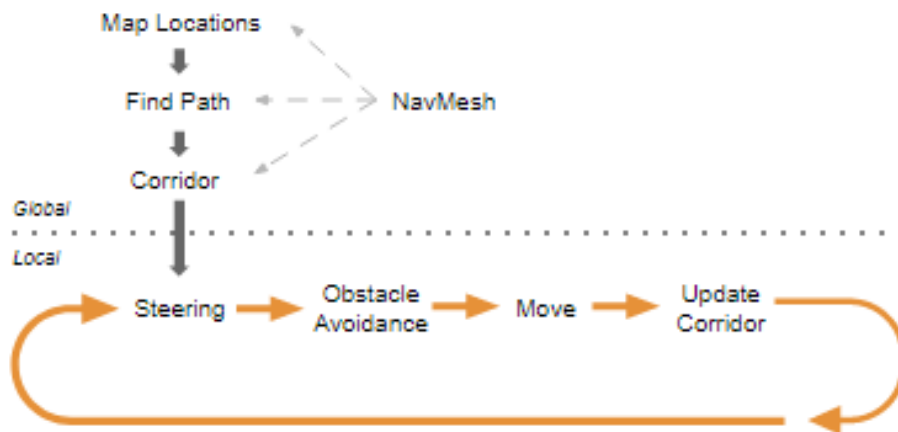


Рис. 3. Схема движения интеллектуальных агентов

Среда разработки Unity имеет простой Drag&Drop интерфейс, который настраивается под требования конкретного пользователя, окна программы можно расположить удобным для работы образом. Unity поддерживает два скриптовых языка программирования – это C# и Java Script. Вся физика среды разработки и физические взаимодействия рассчитываются на базе физического ядра PhysX от компании NVIDIA [2].

Обобщенная схема выбора пути показана на рисунке 3.

Таблица  
Результаты моделирования процесса эвакуации

Число агентов	Минимальное время, сек.	Среднее время, сек.	Максимальное время, сек.
25	21,71	22023	22,85
50	23067	24,11	24,67
75	24,25	24,57	25,58
100	23,89	24,66	25,91
125	25,37	26,26	27,66
150	27,82	28,91	29,63

*A.N. Shvetsov, N.S. Stepukov*

#### MODELING OF EVACUATION PROCESS BASED ON AGENCY-ORIENTED APPROACHES

The problem of modeling the processes of people evacuation from social facilities, which is considered on the example of an educational building of Vologda State University, is considered. The implementation of the algorithm for finding a safe path in case of fire using Unity software is considered. Numerical results of simulation modeling of the evacuation process from this educational building are presented.

Multi-agent modeling, fire evacuation, path finding algorithm, simulation results.

Результаты моделирования процесса эвакуации из учебного корпуса № 2 Вологодского государственного университета представлены в таблице.

Полученные числовые значения показывают, что при количестве эвакуируемых в диапазоне от 25 до 150 человек время эвакуации укладывается в установленные нормативы безопасности.

#### Литература

1. Швецов, А. Н. Агентно-ориентированные системы: основные модели / А. Н. Швецов. – Вологда : ВоГТУ, 2012. – 190 с.
2. UnityDocumentation : официальный сайт. – URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html> (дата обращения: 28.11.2019). – Текст : электронный.
3. Стивенс, Р. Н. Алгоритмы. Теория и практическое применение / Р. Н. Стивенс. – Москва : Эксмо, 2016. – 544 с.

УДК 628.5



**О.В. Ковалева<sup>1</sup>, В.В. Ковалев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт химии АН Республики Молдовы,

<sup>2</sup>Институт исследований и инноваций  
Молдавского государственного университета

## ПОЛУЧЕНИЕ БИОВОДОРОДА ДЛЯ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

*Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда STCU, грант № 5832*

*«Биохимическое стимулирование анаэробных процессов и разработка многофункционального реактора для получения молекулярного биоводорода и биометана»*

Представлено исследование влияния ряда биологически активных веществ на эффективность процессов биохимического получения водорода из биомассы. Показана перспективность предложенного нового направления биоводородной теплоэнергетики, являющейся более экологически чистой по сравнению с другими способами получения водорода. Рассмотрены теоретические основы образования биоводорода. Обоснованы условия и разработан метод повышения содержания  $H_2$  в составе биогаза до 40–68 %.

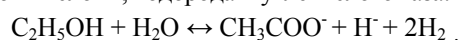
Биоводород, биогаз, анаэробное сбраживание, биологически активные вещества, биореактор, отопительные системы, альтернативные виды топлива.

**Введение.** Сокращение запасов сырьевых источников природного углеводородного топлива на Земле способствует поиску альтернативных источников энергии. Особое внимание уделяется процессам получения водорода, который считается многообещающим источником топлива, обладающим высоким энергетическим потенциалом.

Первые исследования биохимического сбраживания биомассы, проведенные в начале XX века В.Л. Омелянским [1], выявили, что анаэробные процессы не всегда приводят к выделению метана, а в ряде случаев задерживаются на стадии образования промежуточных соединений. При этом вместо метана на первой стадии процесса происходило образование водорода, и этот процесс был назван *водородным брожением*. Тогда же было обнаружено, что метановое брожение можно затормозить и перевести его в водородное. Водородное брожение развивается в мезофильных условиях (30–33 °С), когда происходит снижение ферментативной активности возбудителей процесса метанового брожения; при этом микроорганизмы продолжают существовать за счет неполного разложения органических веществ. Метанобразующие бактерии при этом не погибают, а лишь частично или временно утрачивают свою ферментативную активность. В дальнейшем водородное брожение затухает и переходит в метановое.

Биохимические технологии получения водорода основаны на конверсии монооксида углерода (СО) бактериями, которые выделяют его в результате так называемой *шифт-реакции*, протекающей согласно уравнению  $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ . Описание особенностей этих процессов, которые зависят от многих факторов, и механизм их протекания нашли отражение во многих исследованиях [2–5]. При этом водород, являющийся сопутствующим элементом во многих биохимических реакциях, выделяется на ацетогенной стадии брожения.

Активность ацетогенных бактерий сопровождается расщеплением спиртов и жирных кислот с образованием уксусной кислоты, водорода и углекислого газа:



Вместе с тем, было отмечено [6], что накопление более 1 % водорода в составе биогаза ингибирует метаногенное брожение и выделение метана. Результатом быстрого аккумуляирования  $H_2$  в биогазе объясняют технологические сложности увеличения содержания в нем метана более чем на 70 % [3]. Этим же объясняется относительно низкое содержание водорода в составе биогаза.

Эти особенности процессов сбраживания биомассы обусловили необходимость разработки новых путей получения водорода биохимическим путем, направленных на повышение его выхода. Стимулирующими факторами для развития биохимических методов получения водорода являются наличие недорогого возобновляемого растительного сырья, возможность использования отходов биомассы, их дешевизна и снижение трудоемкости при реализации процессов анаэробного сбраживания.

Развитие биохимической водородной технологии также связано с необходимостью решения ряда смежных проблем, таких как увеличение содержания водорода в составе биогаза, интенсификация его выделения, определение путей управления этим процессом, оптимизации конструкций биореакторов, создание эффективных и недорогих систем очистки биоводорода и его безопасного хранения. Однако, несмотря на актуальность этой технологии, в настоящее время производство биоводорода не вышло за пределы пилотных установок, а технология требует дальнейшего развития и совершенствования.

Наши исследования по влиянию природных биологически активных веществ (БАВ) на метаногенные процессы анаэробного сбраживания биомассы [7–9] позволили предложить новый подход к решению этих проблем. Так, некоторые из исследованных нами добавок в процессах сбраживания биомассы (скавален, бетулинол и другие) позволили увеличить в 2–3 раза производительность метаногенеза и одновременно повысить содержание метана в составе биогаза до 90 % и более. В то же время некоторые БАВ, в зависимости от их молекулярного строения и функциональных групп, наоборот, ингибировали метаногенный процесс, направив его в сторону водородного брожения. Перспективность этого направления предопределила постановку специальных исследований.

**Материалы и методы исследований.** Влияние БАВ на процессы ацетогенеза и метаногенеза проводили на специально разработанной установке, а в качестве биомассы для исследований была использована послеспиртовая барда. Выбор БАВ проводили из числа природных соединений растительного происхождения с учетом их стимулирующего воздействия на биохимические процессы с выделением биогаза и биоводорода, селективного действия на различные виды микроорганизмов, доступности сырья и простоты их экстракционного выделения. Преимуществом предложенного процесса является возможность введения БАВ в состав обрабатываемой биомассы в низких концентрациях ( $10^{-3}$ – $10^{-5}$  масс. %). Процесс селективного получения молекулярного водорода проводили при pH=7,2–7,5 в мезофильных условиях при температуре  $33 \pm 2$  °C при перемешивании биомассы и непрерывном отводе водорода из биореактора.

Для исследования были взяты природные соединения – гипсогенин либо гликозиды гипсогенина (I) (R и R' – H, или углеводные функциональные группы), а также сапонин неотигогенина (II) – стероид  $C_{27}$ -спироанового ряда со следующими структурами:

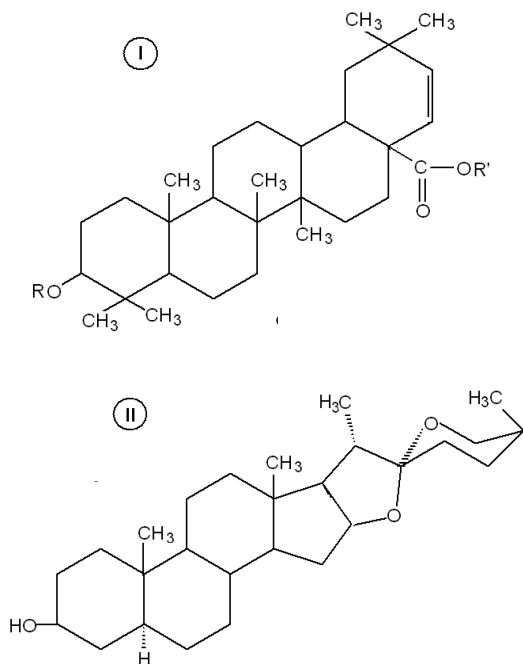


Рис. 1. Структуры исследуемых соединений

Гипсогенин является белым и слабо-жёлтым порошкообразным веществом, состоящим из смеси тритерпеновых гликозидов корней растений (ботанических видов) рода *Gypsophila*. Он обладает рядом физиологических свойств и применяется в медицине. Сапонины содержатся в ряде растений вида Юсса, а также в томатах, и извлекаются экстракцией.

Состав образующегося биогаза определяли газохроматографическим методом.

### Результаты исследований и их обсуждение:

#### 1. Кинетика начальных стадий процесса анаэробного сбраживания послеспиртовой барды

Как свидетельствуют полученные кинетические данные (табл.), биохимический процесс сбраживания барды в отсутствие БАВ характеризуется на начальной стадии выделением водорода, содержание которого в выделяющемся биогазе постепенно возрастает в течение 4–6 суток, достигая максимума 6–10 %, остальное приходится на  $CO_2$ .

Затем количество выделяемого биоводорода начинает снижаться, и в составе биогаза появляется монооксид углерода (CO). Его содержание проходит через максимум в 0,3–0,8 %, и только на третьей стадии процесса ферментации (через 10–12 суток), по мере снижения содержания  $H_2$  и CO, в составе биогаза появляется метан, количество которого быстро возрастает до 45–70 %. В то же время количество биологически расщепляемых органических веществ в биомассе биореакторов, определяемое параметром (БПК – биологическим потреблением кислорода), за это время снижалось с 23200 мг $O_2$ /л до 2500–2800 мг $O_2$ /л.

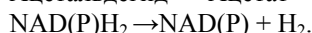
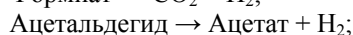
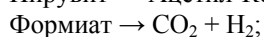
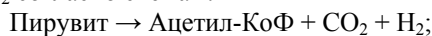
Таблица

**Изменение состава выделяющегося биогаза, включающего водород ( $H_2$ ), монооксид углерода (CO), диоксид углерода ( $CO_2$ ) и метан ( $CH_4$ ) с течением времени анаэробного сбраживания биомассы**

№ п/п	Время сбраживания исходной биомассы, сутки	Состав биогаза в % по интенсивности линий на хроматограммах			
		$H_2$	CO	$CH_4$	$CO_2$
1	2	0,1	0	0	остальное
2	4	6	0	0	
3	6	10	0,2	0	
4	8	0,2	0,3	0	
5	10	0	0,8	0,2	
6	12	0	0,3	21	
7	14	0	0,1	45	
8	20	0	0	70	

Процессы, протекающие в анаэробных условиях на первоначальной ацетогенной стадии биохимического процесса, связаны с образованием промежуточных продуктов брожения – пирувата, формиата, ацетальдегида и восстановленного никотинамидадениндинуклеотидфосфата (NAD(P) $H_2$ ). Консорциум микроорганизмов способен при брожении восстанавливать протоны, избавляясь от избытка восстановителя [10].

В результате происходит выделение водорода ( $H_2$ ) и  $CO_2$  согласно схемам:



При этом выделение водорода катализируется двумя ферментами: гидрогеназой и специфической  $CO$ -гидрогеназой, работающими вместе. В отсутствие конечного акцептора электронов (кислорода, нитратов, нитритов и др.) начинает выделяться монооксид углерода. Для протекания реакций анаэробного брожения консорциум бактерий использует органические соединения. Среди представителей бактериального сообщества найдено 25 % родов бактерий, таких как *Escherichia coli*, а также патогенные для человека бактерии *Salmonella*. Наряду с выделением водорода часть невысвобожденной энергии, выделяемой в процессах брожения органического вещества, расходуется на образование других побочных продуктов, среди которых уксусная кислота, которая обуславливает некоторое смещение рН среды в кислую сторону.

Термодинамически процесс образования биоводорода протекает более эффективно при удалении продукта реакции, осуществляемом метаногенными бактериями. Значения парциального давления водорода, выше которых деятельность ацетогенных микроорганизмов прекращается, находятся (для разных соединений в составе биомассы) в пределах от  $9 \cdot 10^{-5}$  атм до  $1,5 \cdot 10^{-5}$  атм. Таким образом, низкое парциальное давление водорода является необходимой предпосылкой для оптимального функционирования анаэробных микробных систем для конверсии ацетата в метан. Водород ингибирует рост чистых культур метаногенов, использующих ацетат, так как ацетокластическая реакция является менее энергетически выгодной, чем восстановление  $CO_2$  водородом. Поэтому в анаэробных процессах сбраживания биомассы количество образуемого биоводорода в составе биогаза не превышает 1–2 %. В связи с этим, учитывая характер изложенных биохимических процессов, для повышения выхода биоводорода одним из важных условий может являться снижение парциального давления в биореакторе.

## 2. Влияние биологически активных веществ на выделение биоводорода

Ранее было показано, что некоторые БАВ (такие как сквален, бетулинол и др.) способствуют ингибированию активности дегидрогеназы (фермента, ответственного за образование водорода в биохимических процессах сбраживания) и соответствующему увеличению интенсивности метаногенеза с одновременным снижением скорости процесса водородогенеза [7].

В настоящей работе проведены исследования процессов в присутствии других типов добавок, ингибирующих метаногенные процессы и стимулирующих процессы биохимического выделения биоводорода, что представляет практическую важность для развития биоводородной энергетики.

Согласно экспериментальным данным (рис. 2) в присутствии добавок спиростана и гипсозида в количестве  $5 \cdot 10^{-3}$  масс. % по отношению к ферментируемой биомассе, содержание водорода в течение первых

10 суток нарастало до максимума и достигло значений 40,2 % и 67,8 %.

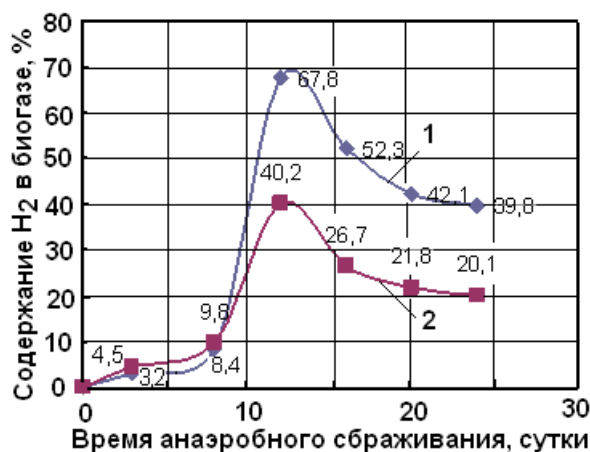


Рис. 2. Изменение содержания водорода в составе биогаза в присутствии БАВ,  $5 \cdot 10^{-3}$  масс. %: 1 – гипсозид; 2 – спиростан

Следует отметить, что в отличие от данных по исследованию кинетики процесса в отсутствие БАВ выделение водорода не приводит к большому снижению ХПК и БПК: значение БПК в этих условиях за 24 суток изменилось незначительно – с 23200  $mgO_2/l$  до 19500  $mgO_2/l$ . Оценка баланса количества выделенного водорода и элементов органических соединений в биомассе свидетельствует в пользу того, что образование водорода в исследуемом процессе происходит не столько вследствие биохимического расщепления и минерализации органических веществ, а преимущественно с участием атомов водорода молекулы воды.

Исследованные БАВ (гипсозид и спиростан) относятся к классу соединений с изопреноидной структурой. Специфика строения их молекул заключается в наличии двойных сильно ненасыщенных связей (до двух-трех в молекулах монотерпеноидов, до семи-восьми в тетратерпеноидах (каротеноидах)). Другой их особенностью является разнообразие циклических структур в молекулах: от 1 до 5–6 циклов в различных сочетаниях – сочлененные, конденсированные, трех-, пяти- и шестичленных циклы и гетероциклы, содержащие кислород.

Еще одной особенностью молекулярного строения изопреноидов является сочетание в одной и той же молекуле различных функциональных групп и структурных группировок, как, например, спирокетальная группировка в стероидных сапогенинах. Благодаря такому разнообразию химических структурных элементов, соединения предложенных нами биологически активных добавок из класса растительных веществ изопреноидной природы выполняют роль переносчиков кислорода и электронов в биохимических процессах, а также проявлению мембранотропной активности, способствующей изменению проницаемости мембран микроорганизмов и их электрического потенциала. В свою очередь, изменение проницаемости клеточных мембран приводит к нарушению гомеостаза клеток микроорганизмов, вследствие чего некоторые органеллы и ферменты теряют свои функции, которые в процессах метаногенного брожения приостанавливают функционирование гидрогеназ и инги-

бируют процесс метаногенеза, что приводит к переориентации процесса метанообразования на конверсию  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2\text{O}$  для выделения молекулярного биоводорода. При этом только 20 % биомассы используется для выделения биоводорода, остальное количество  $\text{H}_2$  выделяется из молекул воды по *шифт*-реакции:  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ .

Можно полагать, что основным источником получаемого молекулярного биоводорода является вода, так как до 80 % энергии биомассы не используется в этом процессе. Поэтому целесообразно проводить биохимический процесс в две стадии: на первой стадии осуществлять стабилизированный процесс получения биоводорода, поддерживая концентрацию стимулирующих микродобавок на оптимальном уровне, а на второй стадии процесса, для более полного использования энергии биомассы, переключить работу биореактора на метаногенный биохимический процесс для получения биометана по известной технологии, и этот процесс проводить в отдельном биореакторе.

Нами была предложена функциональная схема реактора для биохимического анаэробного получения биоводорода (рис. 3), в котором образование повышенных количеств  $\text{H}_2$  возможно за счет использования специальных БАВ.

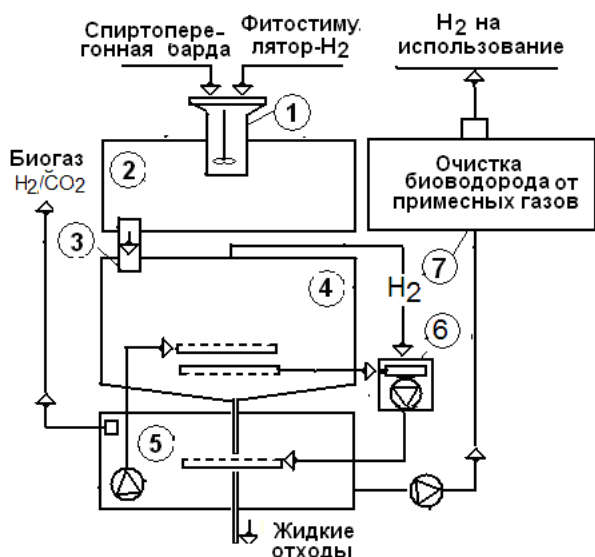


Рис. 3. Функциональная схема реактора для получения молекулярного биоводорода:

- 1 – смеситель; 2 – накопительный резервуар;  
3 – поплавковое дозирующее устройство; 4 – биореактор для генерирования биоводорода; 5 – ресивер;  
6 – эжектор; 7 – установка для очистки биоводорода

Процесс работы биореактора осуществляется следующим образом. Послеспиртовая или коньячная барда и добавки БАВ вводятся в смеситель 1 и заполняют накопительную емкость 2, откуда через дозирующее устройство поплавкового типа поступает в биореактор 4. Интенсифицированный биохимический процесс выделения биогаза, содержащего преимущественно молекулярный водород ( $\text{H}_2$ ) в смеси с примесными газами ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и др.), осуществляется в мезофильных условиях. Затем включается насос эжектора 6, вследствие чего обрабатываемая биомасса барды отбирается из реактора. Благодаря образующемуся разрежению в

эжекторе биогаз втягивается в него, образуя газожидкостную смесь, поступающую в ресивер 5. Здесь происходит распыление смеси и разделение фаз. Одновременно с этим, с помощью эжектора обеспечивается непрерывный отвод образующегося водорода из верхней внутренней зоны биореактора.

Благодаря небольшому вакуумированию, парциальное давление выделяющегося биоводорода над ферментируемой жидкостью снижается и создаются благоприятные условия для развития процесса водородогенеза. Это благоприятствует образованию биогаза с повышенным содержанием водорода. Таким образом достигается более высокое содержание молекулярного водорода (до 40 % в случае спиростана и до 70 % в случае гипсозида) в составе получаемого биогаза.

Жидкая фаза насосом вновь перекачивается в реактор, тем самым обеспечивая интенсивный массообмен в нем, что благоприятно влияет на процесс анаэробного сбраживания биомассы, а водород, обладая более низкой растворимостью в водной среде, отводится на использование.

Получаемый биоводород с 50–70 % его содержанием в биогазе (остальное – преимущественно  $\text{CO}_2$ ) может использоваться в исходном состоянии без специальной подготовки как эффективное энергетическое средство для получения тепловой и электрической энергии [11], как газовое топливо в автомобильном транспорте, а также в качестве сырьевой базы в химической промышленности. Кроме того, получаемый биоводород, после его очистки от примесей других газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) по предложенной нами технологии также можно использовать для энергетических топливных элементов, либо работать в качестве энергетических станций в домашних условиях.

#### Выводы:

1. Изучены особенности кинетики и механизма анаэробных процессов биохимического сбраживания послеспиртовой барды, связанных с выделением  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}_2$ .

2. Установлено, что только 20 % биомассы используется для образования биоводорода, остальное количество  $\text{H}_2$  в биохимических процессах выделяется из молекул воды за счет их взаимодействия с  $\text{CO}$  (*шифт*-реакция):  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ .

3. Показано, что при введении микроколичеств изопреноидных соединений, структура молекул которых характеризуется наличием двойных ненасыщенных связей, стабилизируется биоводородный процесс. В результате содержание молекулярного водорода в биогазе в течение первых 10 суток достигло значений 67,8 и 40,2 % для в присутствии микродобавок гипсозида и спиростана соответственно.

4. Разработана функциональная схема реактора для биохимического анаэробного получения биоводорода, в котором за счет использования специальных БАВ стимулируется процесс выделения  $\text{H}_2$ , при этом рекомендуется производить непрерывный отвод образующегося водорода из зоны реакции для снижения его парциального давления в реакторе и повышения общего количества биоводорода.

### Литература

1. Омелянский, В. Л. Избранные труды : в 2 томах / В. Л. Омелянский. – Москва ; Ленинград : АН СССР, 1953. – 559.
2. Цыганков, Ф. Ф. Получение водорода биологическим путем / Ф. Ф. Цыганков // Журнал Российского Химического общества им. Д. И. Менделеева. – 2006. – № 6. – С. 26–33.
3. Das, D. Hydrogen production by biological processes: a survey of literature / D. Das, T. N. Veziroglu // International Journal of Hydrogen Energy. – 2001. – Vol. 26, issue 1. – P. 13–28.
4. Hydrogen Production through the Water–Gas Shift Reaction: Thermodynamic Equilibrium versus Experimental Results over Supported Ni Catalysts / A. Haryanto, S. Fernando, S. To [et al.] // Energy Fuels. – 2009. – Vol. 23, is. 6. – P. 3097–3102.
5. Mechanism of the Water Gas Shift Reaction on Pt: First Principles, Experiments, and Microkinetic Modeling / Grabow, L., Gokhale, A., Evans, S. [et al.] // J. Phys. Chem. C. – 2008. – Vol. 112, is. 12. – P. 4608–4617.
6. Калужный, С. В. Биогаз: Проблемы и решения. Серия: Биотехнология / С. В. Калужный, А. Г. Пузанков, А. Г. Варфоломеев. – Москва: ВИНТИ, 1988. – Т. 21. – 190с.
7. Effects of Amaranths' Seeds on Dehydrogenase Activity and Gases Emission in Methanogenic Bioreactors / Covaliov V., Senicovscaia I., Nenno V. [et al.] // Studia Universitatis Moldaviae. Real and Natural Sciences Ser. – 2015, Nr.1 (81). – P. 230–235.
8. Duca, Gh. Intensive biochemical processes of wastewater treatment with high calorificity biogas production / Duca Gh., Covaliov V., Covaliova O. // Emerging Developments and Environmental Impacts of Ecological Chemistry. Chapter 13. – IGI Global Publ.House, USA, 2020. – P. 291–306. – URL: www.igi-global.com (дата обращения: 15.06.2020). – Text : Electronic.
9. Application of Bioactive Substances in the Biogas technology / Covaliov V., Malina J. F., Duca Gh. [et al.] // Water Sci., Technol. Library, 2014. – Vol. 69, Management of Water Quality in Moldova, ISBN 978-3-319-02707-4. Publ. House Springer Cham Heidelberg New York Dodrecht London, 2014. – Chapter 12. – P. 225–241.
10. Морозенко, Д. Н. Производство электрической и тепловой энергии при утилизации ТБО / Д. Н. Морозенко, С. А. Кусачева, С. Н. Черняев // Международный журнал прикладных и фундаментальных наук. – 2016. – № 6–7. – С. 943–947.
11. Fermentative degradation of lignocellulose for biogas production: 1. Pre-processing methods / Covaliov, V., Ungureanu, D., Covaliova, O., Ionet, I. // Journ. Studia Universitatis, Ser. Natural Sciences. – 2014. – Nr. 2 (72). – P. 130–134.

*O.V. Kovaleva, V.V.Kovalev*

### BIOHYDROGEN PRODUCTION FOR HEATING SYSTEMS USING BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

The study of the influence of biologically active substances on the efficiency of the processes of biochemical production of hydrogen from biomass is presented. The prospects of the proposed new direction of biohydrogen thermal energy, which is the most environmentally friendly in comparison with other methods of producing hydrogen, are shown. The theoretical foundations of the formation of biohydrogen are considered. The conditions are justified and a method has been developed to increase the H<sub>2</sub> content in biogas to 40–68%.

Biohydrogen, biogas, anaerobic digestion, biologically active substances, bioreactor, heating systems, alternative fuels.



## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ СОЧЕТАНИЙ УСИЛИЙ В РАСЧЕТАХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ОДНОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

В статье рассмотрены изменения при составлении сочетаний усилий, введенные СП 20.13330.2016, и их влияние на расчетные усилия железобетонных колонн одноэтажных промышленных зданий.

Сочетание нагрузок, железобетонные колонны, расчет, одноэтажные здания.

В расчетах строительных конструкций должны быть учтены все виды нагрузок, соответствующих функциональному назначению и конструктивному решению здания, в том числе климатические, технологические воздействия и усилия, вызываемые деформацией строительных конструкций и основания. В реальных условиях на конструкцию действует несколько нагрузок одновременно, причем их влияние в процессе эксплуатации может изменяться, и вероятность того, что все нагрузки могут одновременно оказывать максимальное воздействие, незначительна.

Нормами предусмотрены два варианта сочетаний нагрузок:

- основные сочетания нагрузок, состоящие из постоянных, длительных и кратковременных;
- особые сочетания нагрузок, состоящие из постоянных, длительных и кратковременных и одной из особых нагрузок.

СНиП 2.01.07-85 [1] «Нагрузки и воздействия» предусматривал 4 вида особых нагрузок: сейсмические и взрывные воздействия, нагрузки, вызываемые резкими нарушениями технологического процесса, и воздействия, вызванные деформациями основания. СП 20.13330.2011 [2] и СП 20.13330.2016 [3] рассматривает перечень особых нагрузок, добавив нагрузки, обусловленные пожаром и от столкновения транспортных средств с частями сооружения, а также климатические воздействия, приводящие к аварийной ситуации, при этом были забыты сейсмические, которые были внесены изменения от 06.01.2019 г. В сочетания нагрузок должны входить нагрузки, которые наиболее неблагоприятно влияют на конструкции, при этом взаимоисключающие воздействия не могут входить в одно сочетание.

В связи с введением новых СП 20.13330.2011 [2] и СП 20.13330.2016 [3], были внесены изменения при составлении сочетаний нагрузок. Коэффициенты для определения сочетаний представлены в таблице 1. Анализируя коэффициенты, можно сделать вывод, что изменения коснулись конструкций, в которых три и более временных нагрузок, в частности колонн одноэтажных промышленных зданий с мостовыми кранами, где количество нагружений принимается восемь вариантов:

- от действия постоянной нагрузки;
- от действия снеговой нагрузки;

- от действия наибольшего вертикального давления на крайнюю стойку и минимального на противоположную;

- от действия минимального вертикального давления на крайнюю стойку и минимального на противоположную;

- от действия тормозного давления на крайнюю стойку;

- от действия тормозного давления на противоположную стойку;

- от действия ветровой нагрузки слева направо;

- от действия ветровой нагрузки справа налево.

С учетом коэффициентов сочетаний усилий в конструкции определяем [2, 3]:

а) основные сочетания нагрузок, состоящие из постоянных, длительных и кратковременных:

$$C_m = P_d + (\psi_{11}P_{11} + \psi_{12}P_{12} + \psi_{13}P_{13} + \dots) + (\psi_{21}P_{21} + \psi_{22}P_{22} + \psi_{23}P_{23} + \dots); \quad (1)$$

б) особые сочетания нагрузок, состоящие из постоянных, длительных, кратковременных и одной из особых нагрузок:

$$C_s = C_m + P_s, \quad (2)$$

где  $C_m$  – нагрузка для основного сочетания;

$C_s$  – нагрузка для особого сочетания;

$\psi_{li}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) – коэффициенты сочетаний для длительных нагрузок;

$\psi_{2i}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) – коэффициенты сочетаний для кратковременных нагрузок.

Коэффициент сочетания нагрузок  $\Psi$  учитывает вероятность значений той или иной нагрузки в сочетании с другими нагрузками. Каждая нагрузка в различных комбинациях нагрузок имеет свой различный коэффициент сочетаний. Задача состоит в определении комбинации нагрузок (с учетом различных коэффициентов сочетаний), вызывающую наибольшее усилие в рассматриваемом элементе конструкции, в частности колонны крайнего ряда одноэтажного здания. При определении наиболее благоприятных сочетаний нагрузок рассматриваем такие комбинации усилий:

+  $M_{max}$  – максимальный момент и соответствующая ему продольная сила  $N_{comb}$ ;

-  $M_{max}$  – минимальный момент и соответствующая ему продольная сила  $N_{comb}$ ;

+  $N_{max}$  – максимальная продольная сила и соответствующий ей момент  $M_{comb}$ .

## Коэффициенты сочетания нагрузок

Сочетания	Нагрузки											
	постоянная	по СНиП 2.01.07-85*					по СП 20.1330.2016					
		длительная		кратковременная			постоянная	длительная		кратковременная		
	1	2	1	2	3 и более	1		2	1	2	3 и более	
Основные:	1						1					
- постоянная	1						1					
- одна длительная	1						1	1	1			
- две длительные	1	0,95	0,95				1	0,95*	0,95*			
- одна кратковременная	1			1			1					
- две кратковременные	1			0,9	0,9		1			0,9	0,9	
- три и более кратковременные	1			0,9	0,9	0,9	1			1	0,8	0,6
Особые:	1						1					
- постоянная	1						1					
- одна длительная	1	0,95					1	0,95				
- две длительные	1	0,95	0,95				1	0,95	0,95			
- одна кратковременная	1			1			1			0,8		
- две кратковременные	1			0,8	0,8		1			0,8	0,8	
- три и более кратковременные	1			0,8	0,8	0,8	1			0,8	0,8	0,8
особая нагрузка	принимается без снижения					принимается без снижения						

\*длительная и кратковременная нагрузка принимаются с учетом работы крана

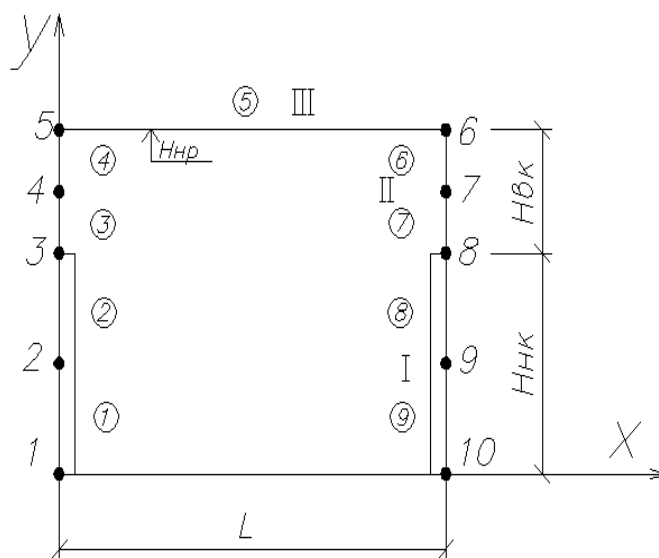


Рис. 1. Расчетная схема рамы:  
 где 1÷10 – номера узлов рамы; ① ÷ ⑨ – элементы рамы;  
 I–III – типы жесткости сечения рамы

Для оценки изменений при составлении сочетаний нагрузок была принята одноэтажная однопролетная рама с пролетами  $L$  18 и 24 м, с отметкой низа ригеля  $H_{np}=9,6$  м и грузоподъемностью мостового крана 5, 8, 12,5 и 20 т.

Высота колонны верхней части 3,8 м, высота нижней части колонны 5,950 м до обреза фундамента. Схема рамы представлена на рисунке 1.

Результаты расчетов и их сравнительный анализ представлены в графической форме на рисунке 2.

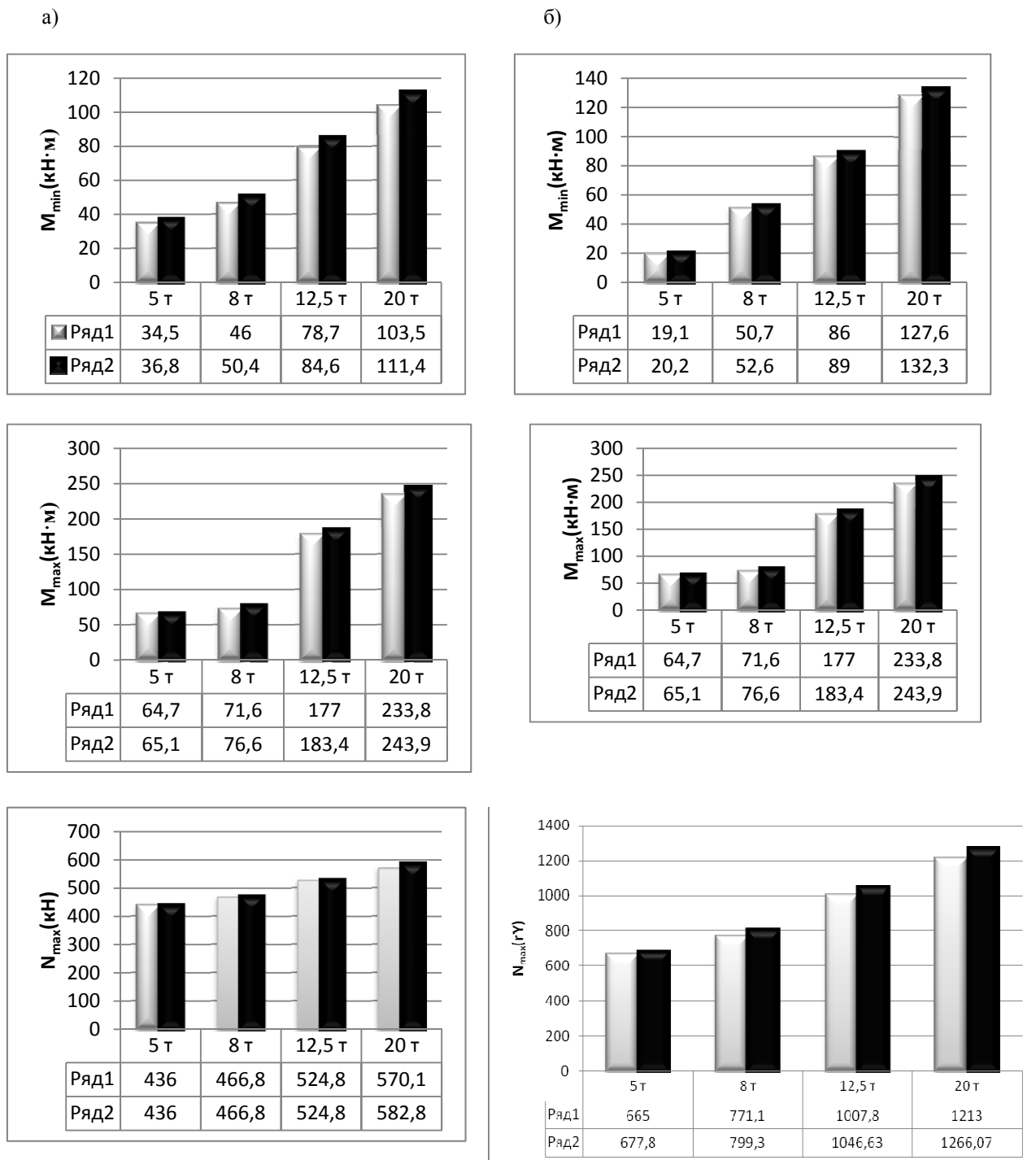


Рис. 2. Усилия в колонне при пролете 18 м:  
 а) – верхняя часть колонны; б) – нижняя часть колонны  
 ряд 1 – сочетание усилий по старым нормам [1];  
 ряд 2 – сочетание усилий по новым нормам [3]

Результаты сравнительного анализа усилий в колонне сведены в таблицу 2.

Таблица 2

**Сравнительный анализ сочетаний**

Характеристика	Среднее значение увеличения усилий, %	
	L=18 м	L=24 м
Верхняя часть колонны		
$M_{max}$	0,0 %	0,0 %
$M_{min}$	7,8 %	6,6 %
$N_{max}$	2,2 %	0,0 %
Нижняя часть колонны		
$M_{max}$	3,9 %	0,8 %
$M_{min}$	4,2 %	8,3 %
$N_{max}$	3,5 %	2,9 %

При выборе наименее выгодных сочетаний нагрузок и воздействий в соответствии с нормативным требованием [3] за одну переменную нагрузку принимали нагрузки от 2 кранов с введением дополнительного коэффициента сочетаний для этой нагрузки. Для одновременной работы двух кранов был введен коэффициент  $\psi_t = 0,85$  п. 9.18 [3].

При выполнении расчетов режим работы крана задавался средним, поэтому в длительной составляю-

щей крановой нагрузки горизонтальная нагрузка от торможения не учитывалась п. 9.5 [3].

В результате исследований было установлено, что введение новых коэффициентов для сочетания усилий, в целом, на конечные результаты усилий в колонне влияют незначительно и практически не влияют на армирование колонн.

Наибольшие изменения возникают при определении отрицательного изгибающего момента в верхней и нижней части колонн, и соответствуют при пролетах 18 и 24 метра приблизительно 8 %.

Изменения, внесенные в свод правил [3], влияют в большей степени на нижнюю часть колонн и практически не оказывают влияния на верхнюю часть колонн.

**Литература**

1. СНИП 2.01.07.-85. Нагрузки и воздействия: введен 01.01.1987. – Москва : ФГУП ЦПП, 2005. – 44 с.
2. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНИП 2.01.07-85: введен 20.05.2011. – Москва: Минрегион России. – 2010. – 96 с.
3. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНИП 2.01.07-85\*: введен 04.06.2017. – Москва : Минстрой России. – 2018. – 85 с.

*N.V. Mikhalevich, J.V. Kosheleva*

**IMPACT OF CHANGES IN CALCULATIONS OF SINGLE-STOREY BUILDINGS REINFORCED CONCRETE COLUMNS WHEN DESIGNING FORCE COMBINATIONS**

The article considers changes when designing force combinations introduced by SP 20.13330.2016 and their impact on the design forces of reinforced concrete columns of single-storey industrial buildings.

Combination of loads, reinforced concrete columns, calculation, one-story buildings.



### ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ НА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ

В статье представлено исследование влияния регенеративных теплоутилизаторов на воздухообмен внутри помещения. Приводится методика проведения исследований и результаты расчета. Установлена зависимость между расходом воздуха через регенеративный теплоутилизатор от скорости воздуха в обслуживаемой зоне помещения и ширины помещения. Также показаны зависимости безотрывного течения приточной струи от разбачей разности температур и от скорости воздуха в обслуживаемой зоне.

Регенератор, теплоутилизатор, энергосбережение, воздухораспределение, приточная струя, производительность, микроклимат.

В случае необходимости принудительной вентиляции в помещениях гражданских зданий могут применяться стационарные переключающиеся регенеративные теплоутилизаторы (СПРТ). Работа таких аппаратов основана на попеременном переключении между притоком и вытяжкой воздуха, за счет чего осуществляется смена этапов аккумуляции и регенерации тепловой энергии. Теплообменным аппаратом является регенеративная насадка из твердого материала с множеством каналов для прохода воздуха.

Основным параметром, характеризующим СПРТ, является его производительность по воздуху. При этом объем подаваемого воздуха будет влиять на воздухо-распределение, то есть на скорость и дальнобойность струи. Кроме того в холодный период года будет присутствовать неизотермичность приточной струи. В существующих работах по исследованию СПРТ не дано подобной информации [1]. Поэтому актуально рассмотреть вопрос определения производительности СПРТ в зависимости от качества воздухо-распределения.

Воздухораспределителем СПРТ является вентиляционная решетка, которая будет одновременно приточной и вытяжной. Решетка формирует вид приточной струи и влияет на направление ее распространения по помещению. В существующих СПРТ размер решетки ограничен размерами самого теплоутилизатора, а это ограничивается допустимыми размерами отверстий в наружных стенах [2]. Существующие СПРТ имеют диаметр корпуса до 200 мм, поэтому и наиболее распространенными являются решетки размером 200×200 мм. Подобная решетка будет формировать компактную струю. Так как СПРТ устанавливается в верхней части стены, то струя может настилаться на потолок помещения.

Для определения возможного расхода воздуха через СПРТ воспользуемся следующей формулой:

$$L = 3600 A_0 \cdot v_0, \text{ м}^3/\text{ч},$$

здесь  $A_0$  – фактическая площадь живого сечения приточной решетки,  $\text{м}^2$ ;

$v_0$  – скорость воздуха в живом сечении приточной решетки,  $\text{м}/\text{с}$ .

Для определения последней воспользуемся методикой расчета воздухо-распределения при подаче воздуха настилающейся компактной приточной струей через вентиляционную решетку, изложенной в [3]. Примем, что размеры приточной вентиляционной решетки фиксированы и составляют 200×200 мм.

Скорость воздуха в живом сечении приточной решетки определяется:

$$v_0 = \frac{v_x^{\text{don}} x}{m \sqrt{A_0}}, \text{ м}/\text{с}, \quad (1)$$

где  $v_x^{\text{don}}$  – нормируемое значение скорости воздуха в струе на границе обслуживаемой зоны:

$$v_x^{\text{don}} = v_g \cdot k, \text{ м}/\text{с}, \quad (2)$$

где  $v_g$  – нормируемая скорость движения воздуха в обслуживаемой зоне,  $\text{м}/\text{с}$ ,

$k$  – коэффициент перехода от нормируемой скорости движения воздуха к максимальной скорости воздуха в струе [4],

$x$  – длина траектории струи от места ее выпуска до пересечения оси струи с границей обслуживаемой зоны

$$x = B + H_n - h_{o.z.}, \text{ м}, \quad (3)$$

где  $B$  – ширина помещения,  $\text{м}$ ,

$H_n$  – высота помещения,  $\text{м}$ ,

$h_{o.z.}$  – высота обслуживаемой зоны,  $\text{м}$ ,

$m$  – аэродинамическая характеристика приточной струи, зависящая от вида воздухо-распределителя.

Требуемая площадь живого сечения приточной решетки может быть найдена следующим образом:

$$A_{0mp} = \left( 5,45 \frac{v_x^{\text{don}} x}{H_{mp}} \right)^4 \frac{1}{(n \Delta t_0)^2}, \text{ м}^2, \quad (4)$$

где  $H_{mp}$  – требуемая геометрическая характеристика приточной струи, определяемая из условия безотрывного течения струи на ее протяженности  $x_{omp} = B$ ,

$$H_{mp} = 2B, \text{ м}, \quad (5)$$

где  $n$  – тепловая характеристика приточной струи, зависящая от вида воздухо-распределителя;

$\Delta t_0$  – рабочая разность температур приточного и внутреннего воздуха, °С.

$$x_{omp} = 0,5H, \text{ м}, \quad (6)$$

где  $H$  – геометрическая характеристика приточной струи, определяемая:

$$H = \frac{5,45m \cdot v_0 \sqrt[4]{A_0}}{\sqrt{n \cdot \Delta t_0}}, \text{ м}. \quad (7)$$

Основными параметрами при воздухораспределении, влияющими на микроклимат помещения, являются нормируемое значение скорости движения воздуха в струе на границе обслуживаемой зоны  $v_x^{don}$ , м/с, и рабочая разность температур приточного и внутреннего воздуха  $\Delta t_0$ , °С.

$v_x^{don}$  зависит от нормируемой скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне  $v_g$ , м/с, значения которой различаются для разных зданий и помещений. Так, для жилых помещений в холодный период  $v_g$  ограничивается 0,2 м/с, а в теплый – 0,3 м/с по допустимым параметрам. Для некоторых категорий помещений общественных и административных зданий  $v_g$  может достигать 0,5 м/с.

При фиксированном размере приточной решетки предварительные расчеты показали, что для диапазона значений  $v_g = 0,1 \div 0,5$  м/с требуемая площадь живого сечения воздухораспределителя не достигнет площади, соответствующей размерам 200×200 мм. Поэтому согласно приведенной методике рабочая разность температур  $\Delta t_0$  не будет влиять на величину расхода воздуха при данных скоростях воздуха в обслуживаемой зоне  $v_g$  и данном фиксированном размере воздухораспределителя.

Однако  $\Delta t_0$  будет влиять на протяженность безотрывного течения струи  $x_{omp}$ .

Приведем результаты расчетов для следующих исходных данных:

- тип воздухораспределителя – решетка АМН 200×200 ( $A_0 = 0,0288 \text{ м}^2$ ;  $m = 6,2$ ;  $n = 3,7$ ) [5];

- высота обслуживаемой (рабочей) зоны  $h_{o.z.} = 2 \text{ м}$ ;

- высота помещения  $H_n = 2,5 \text{ м}$ ;

- коэффициент перехода от нормируемой скорости движения воздуха к максимальной скорости воздуха в струе  $k = 1,4$ ;

- рабочая разность температур приточного и внутреннего воздуха,  $\Delta t_0 = 6 \text{ °С}$ .

На рисунке 1 приведена зависимость расхода воздуха через СПРТ от ширины обслуживаемого помещения для указанных скоростей  $v_g$ . По рисунку видно, что с ростом ширины помещения увеличивается и расход воздуха, который можно подать через воздухораспределитель с живым сечением  $A_0 = 0,0288 \text{ м}^2$ . Логично, что чем выше допустимая скорость движения воздуха в обслуживаемой зоне, тем больший расход воздуха можно подавать через одну решетку. В данном случае при  $v_g = 0,1$  м/с расход получается в пределах  $L = 48,3 \div 75,9 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а при  $v_g = 0,5 \text{ м/с}$  –  $L = 241,4 \div 379,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ . При этом изменение ширины помещения от 3 до 5 м дает увеличение расхода в 1,57 раза для каждой скорости.

На рисунке 1 только значения расходов воздуха, соответствующих скорости в помещении 0,5 м/с, будут удовлетворять безотрывному течению приточной струи.

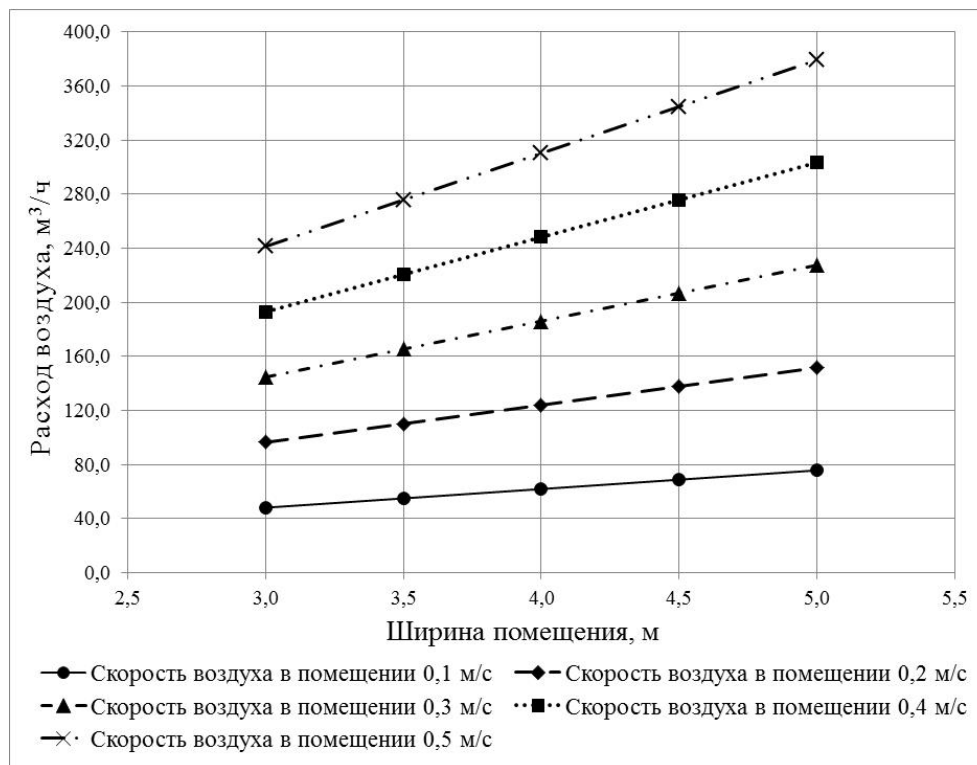


Рис. 1. Зависимость расхода воздуха через СПРТ от ширины помещения при определенных скоростях воздуха в обслуживаемой зоне

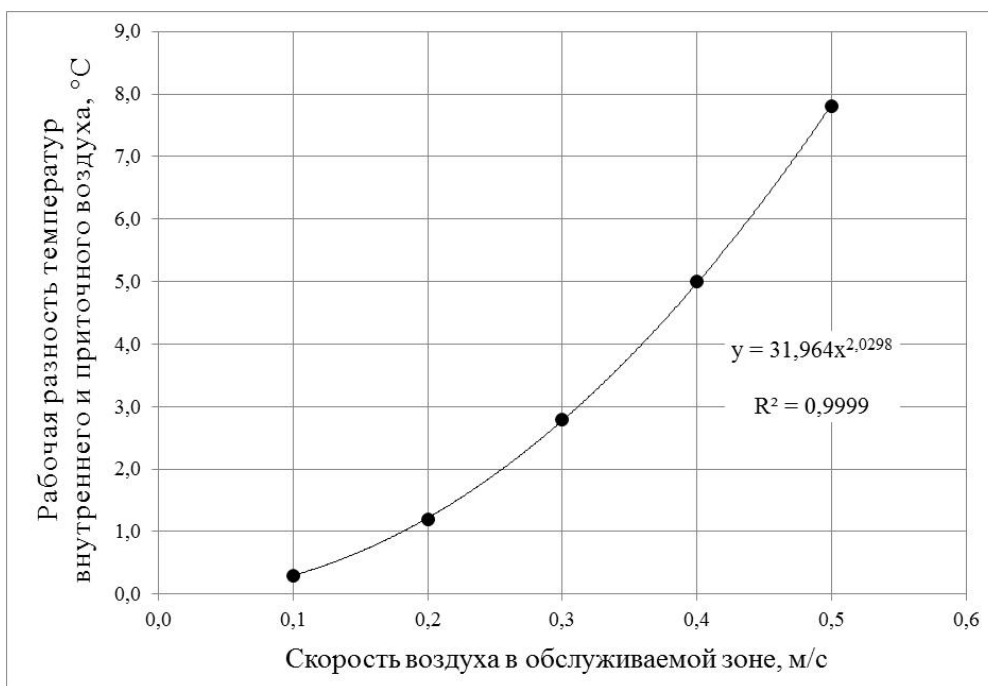


Рис. 2. Зависимость максимальных значений рабочей разности температур приточного и внутреннего воздуха от скорости воздуха в обслуживаемой зоне

На рисунке 2 приведена зависимость максимальных значений рабочей разности температур приточного и внутреннего воздуха, при которых сохраняется безотрывное течение приточной струи от скорости воздуха в обслуживаемой зоне. По степенной линии тренда с высокой степенью аппроксимации получено уравнение, описывающее данную зависимость.

Условие безотрывного течения струи приводит к обработке обслуживаемой зоны обратным потоком приточного воздуха. Если струя оторвется раньше, чем достигнет противоположной относительно приточной решетки стены помещения, то нарушится планируемая схема воздушораспределения, и, скорее всего, обслуживаемая зона будет омываться прямым основным потоком. Вид потока, омывающего обслуживаемую зону, учитывается в методике коэффициентом перехода от нормируемой скорости движения воздуха к максимальной скорости воздуха в струе  $k$ . При этом для обоих указанных случаев  $k$  будет одинаковым, поэтому с точки зрения расчетов и определения возможного расхода воздуха через СПРТ условие безотрывного течения приточной струи не столь важно.

Таким образом, теоретически установлена зависимость между расходом воздуха через СПРТ от скорости воздуха в обслуживаемой зоне помещения и ширины помещения. Также показаны зависимости безотрывного течения приточной струи от рабочей разности температур и от скорости воздуха в обслуживаемой зоне.

## Литература

1. Алешин, А. Е. Моделирование процессов тепло-массопереноса в регенеративных теплообменниках систем кондиционирования : специальность 05.04.03 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Алешин Алексей Евгеньевич. – Санкт-Петербург, 2016. – 119 с.
2. Об утверждении Правил благоустройства территории Санкт-Петербурга в части, касающейся эстетических регламентов объектов благоустройства и элементов благоустройства : Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 31.01.2017 № 40 // – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 15.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Белова, Е. М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях / Е. М. Белова. – Москва : Евроклимат, 2006. – 640 с.
4. СП 60.13330.2012. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 : утвержден Минрегионом РФ 30.06.2012 № 279 : введен 01.01.2013. – Москва : ФАУ «ФЦС», 2012. – 76 с.
5. Воздухораспределители компании «Арктос» : указания по расчету и практическому применению / Завод "Арктос". – Изд. 5-е. – Москва : Арктос, 2008. – 218 с.

*N. N. Monarkin*

### **IMPACT OF REGENERATIVE HEAT EXCHANGER EFFICIENCY ON AIR DISTRIBUTION**

The article deals with the study on the impact of regenerative heat exchangers on air exchange inside the premises. The methods of the study and calculations are presented. The author states the dependence of air flow through a regenerative heat exchanger on the speed of air in the zone of premises being served and the width of the premises. The dependence of unseparated flow of supply air jet on operating temperature difference and the speed of air in the zone being served.

Regenerator, heat exchanger, energy saving, air distribution, air supply flow, air flow, microclimate



## **ПОДГОТОВКА ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ДЕКОРА ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ КОМБИНИРОВАННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТА И СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ**

В данной статье будет рассмотрена возможность и целесообразность применения разработанной технологии подготовки древесных материалов, приведен сравнительный анализ результатов исследования образцов древесины естественной сушки и аналогичных образцов, полученных по разработанной технологии, рассмотрен способ реализации технологии на практике, а также приведен обзор аналогов технологии по подготовке древесины.

Древесные материалы, обработка древесины, ультрафиолет, влажность, исследование, СВЧ-излучение, активация поверхности.

Область деревянного домостроения сегодня активно развивается, возникает потребность в беспрепятственном улучшении свойств и методов обработки одного из лучших природных материалов – древесины, главные недостатки которой – недолговечность, низкое качество на входе и склонность к поражению насекомыми и грибами. Благодаря применению различных технологий подготовки древесины, возможно свести все эти недостатки к минимуму. Однако большинство из способов на данный момент предполагают большие затраты на электроэнергию, долгий срок обработки или применение ядовитых веществ, вредных для человека. Возникает потребность разработки более эффективных и экономичных технологий обработки.

Существует множество методик подготовки древесины, однако комбинированное воздействие ультрафиолета и воздействия СВЧ ранее не рассматривалось. Исследование носит передовой, инновационный характер, с целью дальнейшего патентования.

Целью публикации является исследование возможности и анализ целесообразности применения технологии подготовки древесных материалов для строительства и декора путем обработки древесины комбинированным воздействием ультрафиолета и СВЧ-излучения.

Нами был исследован новый тип комбинированной подготовки древесины. Сочетание УФ и СВЧ обработки для подготовки древесных материалов ранее не рассматривалось. Перспективы применения СВЧ излучения для сушки древесины уже известны, однако губительное воздействие сверхвысоких частот на органическое заражение не рассмотрено так широко. УФ обработка древесины сегодня в качестве перспективной не рассматривается, нами предложено применение кратковременного облучения древесины для активации поверхности материала и обработки ее от органических поражений.

Основой разработанной технологии стал эффект разогрева веществ при воздействии на них излучения

сверхвысоких частот. Стоит отметить, что данная технология давно зарекомендовала себя как наиболее эффективное средство для высушивания древесины. Однако применение лишь СВЧ облучения не способно улучшить свойства поверхности материала. Нами было решено исследовать комбинированное воздействие УФ и СВЧ обработки путем сравнительного анализа образцов древесины естественной сушки и образцов подготовленных по предложенной технологии. В критерии сравнения были включены влажность древесины, прочностные свойства материала на сжатие вдоль и поперек волокон, предел прочности на статический изгиб, наличие органических поражений на поверхности, смачиваемость поверхности образца (краевой угол смачивания).

В качестве древесины для испытания была выбрана сосна как наиболее распространенная порода древесины для строительства. К сравнению были приняты стандартные образцы в виде прямоугольной призмы сечением 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм (для испытаний на сжатие) и образцы для испытания на изгиб в форме бруска сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм, испытания на смачиваемость поверхности также проводились на образцах в форме бруска. СВЧ обработка образцов проводилась до достижения нормативной влажности по ГОСТ 8242-88, равной 12±3 %, в течении 15 минут, с перерывами для охлаждения материала через каждые 5 минут (исходная плотность – 1116,7 кг/м<sup>3</sup> (переувлажненный образец)). УФ обработка поверхности материала производилась после СВЧ высушивания путем облучения поверхности древесины ртутной газоразрядной лампой с колбой из кварцевого стекла, с длиной волны 100–320 Нм, при расстоянии до поверхности древесины 20 см в течение 30 минут для каждой стороны образца. Высушивание образцов естественной сушки производилось также до достижения ими нормативной влажности в течение 23 дней (исходная плотность образца – 836,1 кг/м<sup>3</sup>).

После подготовки образцов нами были проведены испытания на смачиваемость поверхности (краевой угол смачивания методом «сидячей капли»), осмотр образцов на наличие органических поражений, испытания на прочность. Результаты исследований образцов в таблицах 1, 2.

Таблица 1  
Результаты испытаний образцов сосны на сжатие вдоль и поперек волокон

Название образца	Прочность на сжатие вдоль волокон, МПа	Прочность на сжатие поперек волокон, МПа	Наличие органических поражений	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Сосна естественной сушки	11	4,3	+	666,7
Сосна, высушенная по предложенной технологии	23	8,5	-	573,3

Таблица 2  
Результаты испытаний образцов сосны на изгиб

Название образца	Прочность на статический изгиб, МПа	Наличие органических поражений	Краевой угол смачивания
Сосна естественной сушки	19,7	+	35°
Сосна, высушенная по предложенной технологии	41,3	-	26°

Подводя итоги исследования, хотелось бы отметить огромный потенциал подобной методики обработки древесины. Помимо улучшения качества поверхности (смачиваемости) нам также удалось достичь улучшения прочностных свойств материала.

Как можно понять из результатов испытаний образцов, прочность подготовленных по предложенной технологии образцов увеличилась почти в 2 раза, по сравнению с образцами, полученными из той же древесины, но не прошедшими подготовку. Этот эффект можно объяснить тем, что образцы под воздействием СВЧ отдавали влагу равномерно, сохли не только верхние слои, как при естественной сушке, а весь объем древесины, благодаря нагреву в электрическом поле микроволн. При испытании подготовленные образцы работали равномерно по всему объему, что обеспечило повышение прочности.

Стоит отметить положительный эффект УФ излучения. Образцы, прошедшие подготовку, не подверглись поражению древоокрашивающими грибами в течении месяца после прохождения подготовки, в отличие от образцов естественной сушки, которые были поражены непосредственно в течении своего высыхания. Смачиваемость поверхности подготовленных образцов также улучшилась почти в 1,4 раза, что свидетельствует об улучшении обрабатываемости такой древесины благодаря обработ-

ке УФ. УФ, воздействуя на поверхность древесины, разрушает лигнин в клетках, делая поверхность более восприимчивой к обработке антисептиками, «активирует» ее.

Результаты испытаний говорят сами за себя – нам удалось разработать и доказать эффективность применения технологии комбинированной подготовки древесины путем облучения СВЧ и УФ.

Также хотелось бы отметить актуальность идеи: сегодня, когда область деревянного домостроения активно развивается, просто необходимо искать пути улучшения свойств древесины, улучшения качества подготовки материала.

Данная технология может найти применение не только для сушки древесины, но и для фитосанитарной обработки деревянной тары, также возможно применение предложенной технологии и в условиях домашней мастерской, для подготовки заготовок к обработке.

На сегодняшний день для подготовки древесины к использованию проводят различные мероприятия, к примеру сушку и фитосанитарную обработку. Наша технология сочетает в себе оба из них. Рассмотрим другие варианты технологий, имеющие место на рынке:

1. **Фумигация** (от лат. fumigare – окуривать, дымить) – уничтожение вредителей и возбудителей болезней растений путём отравления их ядовитыми парами или газами (фумигантами). К плюсам применения данной технологии можно отнести ее высокую эффективность, долговечность эффекта и относительную простоту воплощения. Однако главным минусом является сложность применения в связи с необходимостью полной изоляции материала на время действия и разложения веществ фумигантов, что влечет за собой увеличение длительности процесса.

2. **Камерная сушка** – представляет собой помещение с системами нагрева (калориферы, как правило) и приточно-вытяжной вентиляции. Принцип работы таких камер основан на нагревании воздуха перегретым паром или горячей водой с последующим воздействием воздуха на пиломатериалы. Плюсами такой технологии являются низкая стоимость (возможно использовать в качестве топлива для калориферов отходы деревообработки – щепы, опилки), простота применения. К минусам можно отнести долговременность процесса и подверженность древесины в течении процесса короблению.

3. **Атмосферная сушка** – традиционный метод подготовки древесины. Как правило, дерево спиливают в начале зимы, распускают на пиломатериалы и около 5 месяцев, до того, как начнется строительный сезон, выдерживают под навесом. За это время влажность древесины достигает 15–20 %. Явными недостатками являются наибольшая длительность сушки, подверженность древесины короблению, поражению грибами и насекомыми. К плюсам можно отнести низкую стоимость и простоту воплощения.

Анализируя рассмотренные методы, можно с уверенностью сказать, что предложенная технология, сочетая в себе фитосанитарную обработку и сушку древесины, является конкурентоспособной, так как

обладает скоростью, эффективностью и экономичностью.

В ходе исследований нам удалось разработать технологию комбинированной обработки древесины путем облучения материала СВЧ и УФ. Применение такой технологии улучшает прочностные качества древесины сосны почти в 2 раза по сравнению с образцами естественной сушки, сокращает время подготовки древесины, почти полностью исключает поражение поверхности материала древоокрашивающими грибами.

Хотелось бы отметить новизну разработанной технологии – ранее комбинированная обработка СВЧ и УФ не рассматривалась. В перспективе нами планируется разработка установки по предложенной технологии и получение патента на данную технологию.

#### Литература

1. ГОСТ 16483.0-89 (СТ СЭВ 6470-88). Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям : введен 1989-07-19. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 15.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Онегин, В. И. Формирование лакокрасочных покрытий древесины / В. И. Онегин. – Ленинград : ЛГУ, 1983. – 148 с.

3. ISPM № 15 2002-03. Международные стандарты по фитосанитарным мерам: руководство по регулированию древесных упаковочных материалов в международной торговле / ФГУП Стандартиформ. – дата регистрации 30.04.2008. – Москва : ФГУП «Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия». 2012. – 24 с.

4. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (с Изменениями N 1, 2) : введен 2017-08-28. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 15.06.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Пузаков, В. Е. Исследования воздействия ультрафиолетового излучения на свойства древесины / В. Е. Пузаков, Р. Р. Сафин, В. В. Губернаторов // Актуальные проблемы лесного комплекса. – Брянск, 2017. – С. 68–71.

*T.A. Polyakov, O.A. Povarova*

#### PREPARATION OF WOOD MATERIALS FOR CONSTRUCTION AND DECORATION BY PROCESSING WOOD WITH COMBINED EXPOSURE TO ULTRAVIOLET AND MICROWAVE RADIATION

This article will consider the possibility and feasibility of using the developed technology for preparing wood materials, provide a comparative analysis of the results of the study of natural drying wood samples and similar samples obtained using the developed technology, consider the method of technology realization in practice, and provide an overview of analogs of the technology for preparing wood.

Wood materials, wood processing, ultraviolet, humidity, research, microwave radiation, surface activation.



С.А. Соловьев, Л.С. Шевцов  
Вологодский государственный университет

## ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПАРАМЕТРАМ ТРЕЩИНЫ НА ОСНОВЕ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

В данной работе предлагается подход к оценке несущей способности (в виде предельного изгибающего момента) изгибаемых железобетонных элементов по параметрам трещины – длины и ширины раскрытия. Приведена функциональная зависимость между расчетным сопротивлением бетона при сжатии и критическим коэффициентом интенсивности напряжений бетона.

Механика разрушения, ширина раскрытия трещины, длина трещины, несущая способность, предельная нагрузка, железобетон, изгибаемый элемент.

Изгибаемые железобетонные элементы входят в состав многих зданий и сооружений в виде балок и плит покрытия/перекрытия, ростверков, перемычек и других несущих элементов конструкций. При отсутствии предварительного напряжения арматуры, эффективное использование несущей способности таких элементов обусловлено наличием в них нормальных и наклонных трещин. Наличие такого рода повреждений изменяет напряженно-деформированное состояние изгибаемых железобетонных элементов, снижает их жесткость, скачкообразно увеличивает напряжения в арматуре. Одним из перспективных направлений для описания работы и поведения с трещинами является использование положений механики разрушений при расчете и проектировании.

В работе [1] К.А. Пирадовым и Н.В. Савицким отмечено, что на данный момент теоретически обоснованного расчета железобетонных элементов при наличии в них трещин не разработано, а существующий расчет по предельным состояниям, введенный в 1955 г., построен на целом ряде эмпирических коэффициентов, в связи с чем предлагается переходить к расчету железобетонных конструкций методами механики разрушения. В [2] В.И. Колчунов отмечает, что при решении проблем моделирования работы железобетонных конструкций с трещинами возникает дилемма – либо заново разработать механику железобетона, на что уйдет не одно десятилетие, либо опираться на существующие положения механики разрушения, которая развивается уже целое столетие и занимается изучением напряженно-деформированного состояния в окрестности трещин.

Зарубежные исследователи также уделяют большое внимание применению механики разрушения железобетона. В работе [3] исследуются вопросы усиления железобетонных изгибаемых элементов с трещинами и аналитическое описание данного усиления на базе положений механики разрушения. Исследование возникновения и траектории развития нормальной трещины в железобетонном элементе приведено в работе [4]. Изучению допустимой длины нормальной

трещины в зависимости от места ее расположения посвящена работа [5].

В данной статье предлагается рассмотреть подход к определению предельной нагрузки на железобетонный элемент при изгибе по заданным предельным параметрам трещины – длине и ширине, на базе расчетных зависимостей механики разрушения.

Ширина раскрытия трещины в бетонном образце при изгибе на основе положений механики разрушения [6] может быть представлена в виде:

$$a_{b,cr} = \frac{M^2 Y^2 (l_0)(1-\nu)(l_{cr} - a)\sqrt{l_{bg}}}{b^2 h^3 E_b l_{cr} K_{IC}^b \pi^{3/2}}, \quad (1)$$

где

$$Y(l_0) = \sqrt{0,4 \cdot l_0 (1,99 - 2,47 \cdot l_0 + 12,97 \cdot l_0^2 - 23,17 \cdot l_0^3 + 24,80 \cdot l_0^4)}$$

–  $Y$  – тарировка [6];  $l_0 = l_{cr} / h$ ;  $M$  – изгибающий момент, воспринимаемый поперечным сечением;  $l_{cr}$  – длина трещины;  $h$  – высота сечения элемента;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $l_{bg} = 1$  м по [6];  $b$  – ширина сечения элемента;  $E_b$  – модуль упругости бетона;  $K_{IC}^b$  – критический коэффициент интенсивности напряжений бетона.

Арматурные стержни сдерживают рост трещины, вызывая ее закрытие на величину:

$$a_{s,cr} = \frac{8K_{IC}^{st}}{\pi b E_b K_{cr} \sqrt{\pi d}} \Gamma(l_{cr}, a), \quad (2)$$

где  $K_{IC}^{st}$  – критический коэффициент интенсивности напряжений стали арматуры;  $d$  – диаметр арматуры;  $a$  – расстояние от центра тяжести сечения арматуры до нижней грани бетона изгибаемого элемента;  $K_{cr}$  – коэффициент, принимаемый  $K_{cr} = \pi$  при отсутствии трещины в арматуре и  $K_{cr} = 1$ , при наличии трещины длиной менее половины диаметра

стержня арматуры;  $\Gamma(l_{cr,c}, a)$  – гамма-функция Эйлера.

Ширина раскрытия трещины на уровне растянутой арматуры вычисляется как разница выражений (1) и (2) [6]:

$$a_{cr,c} = \frac{M^2 Y^2(l_0)(1-\nu)(l_{cr,c} - a)\sqrt{l_{bg}}}{b^2 h^3 E_b l_{cr,c} K_{IC}^b \pi^{3/2}} - \frac{8K_{IC}^{st}}{\pi b E_b K_{cr,c} \sqrt{\pi d}} \Gamma(l_{cr,c}, a). \quad (3)$$

Отсюда можно выразить изгибающий момент в виде:

$$M = \sqrt{\frac{K_{IC}^b b h^3 l_{cr,c} (8K_{IC}^{st} \cdot \Gamma(l_{cr,c}, a) + \pi^{3/2} E_b a_{cr,c} b \sqrt{d})}{Y^2(l_0) \sqrt{d} (a - l_{cr,c})(\nu - 1)}}. \quad (4)$$

Предельная ширина раскрытия трещины ограничивается значениями, приведенными в СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» и СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии». Рекомендации по ограничению ширины раскрытия трещины на основе других нормативных документов можно найти в работе [7].

Предельная длина зачастую ограничивается значениями в зависимости от доли высоты сечения элемента, как было отмечено выше. В этом случае коэффициент принимает фиксированные значения, приведенные в таблице.

Таблица

Значения  $Y$ -тарировки в зависимости от предельной длины трещины  $l_{cr,c,ult}$

$l_{cr,c,ult}$	0,3h	0,5h	0,65h	0,75h
$Y(l_0)$	0,690	1,186	2,003	3,015
$Y^2(l_0)$	0,476	1,406	4,012	9,092

В [7] также приведены соотношения между классами бетона и критическими коэффициентами интенсивности напряжений в бетоне. На основе этой информации, используя СП 63.13330.2018, можно получить зависимость (рис. 1) между расчетным сопротивлением бетона  $R_b$  и критическим коэффициентом интенсивности напряжений бетона  $K_{IC}^b$ .

Используя регрессионный анализ, можно определить линейную функцию в виде (значения  $R_b$  в МПа):  $K_{IC}^b(R_b) = 0,084 + 0,016 \cdot R_b$ .

Если принять  $l_{cr,c,ult} = 0,65h$  в соответствии с [5], то выражение (4) примет вид:

$$M_{ult} = \sqrt{\frac{0,65bh^4(0,084 + 0,016 \cdot R_b)(8K_{IC}^{st} \cdot \Gamma(l_{cr,c}, a) + \pi^{3/2} E_b a_{cr,c,ult} b \sqrt{d})}{4,012 \sqrt{d} (a - 0,65h)(\nu - 1)}}. \quad (5)$$

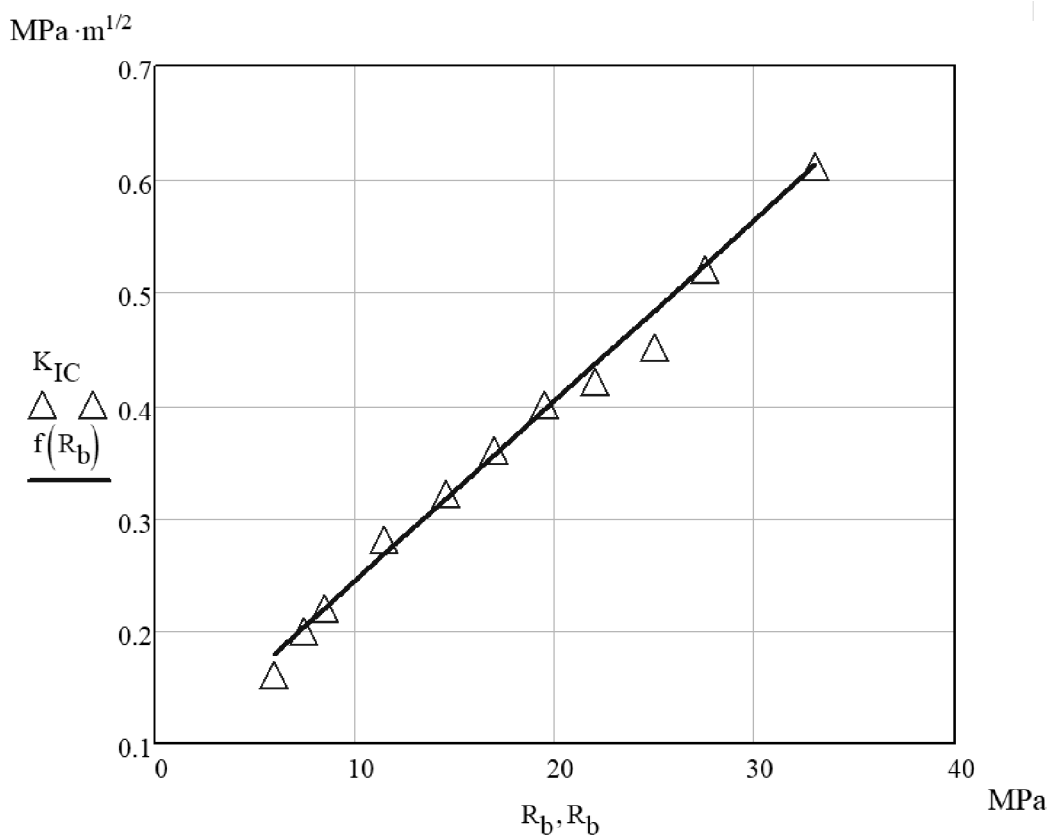


Рис. 1. График зависимости между критическим коэффициентом интенсивности напряжений бетона и расчетным сопротивлением бетона

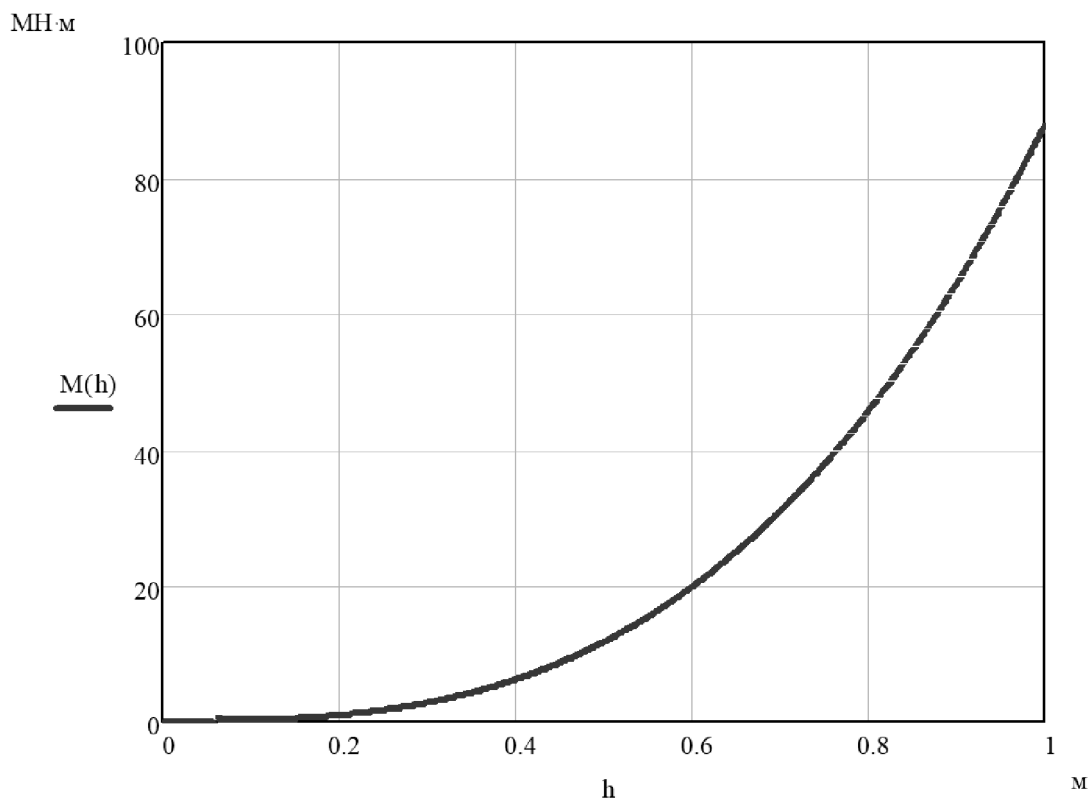


Рис. 2. График зависимости предельного момента изгибаемого элемента от высоты сечения  $h$

Рассмотрим оценку несущей способности на конкретном примере. Пусть имеется железобетонная балка с размерами поперечного сечения  $h=400$ ,  $b=250$  мм;  $a=40$  мм. Бетон класса В25 с параметрами (в соответствии с СП 63.13330.2018):  $R_b=14,5$  МПа;  $E_b=30000$  МПа;  $\nu=0,2$ . Арматура: 5 стержней  $d=12$  мм, класса А400 ( $K_{IC}^{st} = 25$  МПа·м<sup>1/2</sup>).  $a_{cr,ult} = 0,3$  мм. Гамма функция Эйлера составит:  $\Gamma(l_{cr}, a) = 1,826$ . Тогда предельный изгибающий момент по (5) будет  $M_{ult} = 6,23$  МН·м.

На рисунке 2 представлен график зависимости несущей способности изгибаемого элемента от высоты сечения  $h$ .

Согласно расчету по прочности нормального сечения по СП 63.13330.2018, несущая способность нормального сечения составит:

$$M_{ult} = R_s A_s \frac{R_s A_s}{R_b b} \left( h_0 - 0,5 \frac{R_s A_s}{R_b b} \right) \rightarrow 0,083 \text{ МН·м,}$$

где  $A_s = 5,65 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup> – площадь поперечного сечения арматуры;  $R_s = 400$  МПа – расчетное сопротивление стали арматуры. Результаты по формуле (5) оказались завышенными, что может свидетельствовать о неоптимальности параметров ограничения размеров трещины, а также локальности применения функциональных зависимостей (1)–(5).

Выводы:

1. Рассмотрена проблема дальнейшего развития теории расчета железобетонных конструкций с ис-

пользованием положений теории механики разрушения.

2. Предложена функциональная зависимость расчетного сопротивления бетона при сжатии и критического коэффициента интенсивности напряжений в бетоне.

3. Необходимо дальнейшее исследование вопросов о допустимой длине и ширине раскрытия трещины в изгибаемых железобетонных элементах на основе положений механики разрушения.

### Литература

1. Пирадов, К. А. Механика разрушения и теория железобетона / К. А. Пирадов, Н. В. Савицкий // Бетон и железобетон. – 2014. – № 4. – С. 23–25.
2. Kolchunov, V. I. The modeling method of discrete cracks and rigidity in reinforced concrete / V. I. Kolchunov, A. I. Dem'yanov // Magazine of Civil Engineering. – 2019. – No. 88 (4). – P. 60–69.
3. Yehia, N. A. B. Fracture mechanics approach for flexural strengthening of reinforced concrete beams / N. A. B. Yehia // Engineering Structures. – 2009. – Vol. 31. – Issue 2. – P. 404–416.
4. Zhang, J. Simulation of crack propagation in fiber-reinforced concrete by fracture mechanics / J. Zhang, V. C. Li // Cement and Concrete Research. – 2004. – Vol. 34. – Issue 2. – P. 333–339.
5. Carpinteri, A. Propagation of flexural and shear cracks through RC beams by the bridged crack model / A. Carpinteri, J. R. Carmona, G. Ventura // Magazine of concrete research. – 2007. – No. 10. – P. 743–756.

6. Пирадов, К. А. Теоретические и экспериментальные основы механики разрушения бетона и железобетона / К. А. Пирадов. – Тбилиси : Энергия, 1998. – 355 с.

7. Соловьев, С. А. Анализ надежности железобетонной балки по ширине раскрытия трещин на основе ACI 224R-01 / С. А. Соловьев, Л. С. Шевцов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 2 (4). – С. 75–77.

*S.A. Solovyev, L.S. Shevtsov*

**LOAD-BEARING CAPACITY EVALUATION OF FLEXURAL REINFORCED CONCRETE ELEMENTS  
BY CRACK PARAMETERS BASING ON FRACTURE MECHANICS**

In this paper, we propose an approach to assessing the bearing capacity (in the form of ultimate bending moment) of bent reinforced concrete elements by the crack parameters - the length and width of the opening. The functional relationship between the calculated concrete resistance during compression and the critical coefficient of stress intensity of concrete is given.

Fracture mechanics, crack width, crack length, load-bearing capacity, ultimate load, reinforced concrete, flexural element.



## **РАЗРАБОТКА ГИДРОИЗОЛИРУЮЩЕГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ, УВЕЛИЧИВАЮЩЕГО ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИЙ И ПОВЫШАЮЩЕГО ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ К АГРЕССИВНЫМ ФАКТОРАМ**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Вологодской области в рамках государственного научного гранта (договор № 8 от 25.12.2019 г.)*

В статье приводятся сведения по поисковым исследованиям и созданию нового гидроизолирующего состава на основе органических полимеров, увеличивающего долговечность строительных материалов, конструкций и повышающего их устойчивость к агрессивным факторам природного и техногенного характера.

Гидроизолирующий состав, органические полимеры, защита бетона, агрессивная среда.

Бетон и железобетон – самые распространенные материалы в строительстве. С момента начала их использования в строительстве остается актуальной проблема обеспечения долговечности в условиях воздействия агрессивных сред, как природных, так и антропогенных.

Наиболее распространенные мероприятия по снижению коррозии бетона следующие:

1. Покрытие поверхности бетона гидроизолирующими материалами обмазочного типа, содержащими реминерализующие добавки, способные обратить уже протекающие коррозионные процессы вспять.

2. Покрытие поверхности бетона полимеризующимися гидроизолирующими материалами, образующими на поверхности плотноприлегающую водонепроницаемую плёнку.

3. Покрытие поверхности бетона гидроизолирующими средствами обмазочного типа (с ингибиторами коррозии металлов или без), образующими плотноприлегающую водонепроницаемую мембрану с хорошей адгезией.

4. Орошение поверхности бетона растворами, содержащими мигрирующие ингибиторы коррозии металлов с высокой проникающей способностью.

5. Обработка поверхности бетона кольматирующими растворами и обмазочными средствами, содержащими реминерализующие добавки, с высокой проникающей способностью.

6. Герметизация швов и стыков железобетонных конструкций.

Авторами статьи был разработан новый гидроизолирующий состав, который объединил сразу несколько мероприятий по снижению коррозии бетона за счет снижения водонепроницаемости материала и придающий поверхности конструкций гидрофобные свойства.

Научная новизна работы заключается в исследовании возможности применения органических полимеров для защиты строительных материалов от агрессивных сред и факторов природного и техногенного характера с целью придания поверхности и конструк-

ции одновременно гидроизоляционных и гидрофобных свойств.

Для реализации работы были сформулированы первоочередные задачи:

1. Теоретически обосновать возможность повышения прочности и долговечности строительных материалов и конструкций путем нанесения защитного состава с органическими полимерами.

2. Исследовать влияние органических полимеров на эксплуатационные характеристики строительных материалов и конструкций (водонепроницаемость, морозостойкость, устойчивость к воздействию агрессивных сред и др.).

3. Разработать предварительную модель технологической схемы промышленного производства гидроизолирующей смеси на базе промышленного предприятия.

План для реализации поставленных задач включал анализ научно-технической литературы, нормативно-технической документации и других материалов, относящихся к разрабатываемой теме, проведение патентных исследований, построение моделей объекта исследований, установление перечня экспериментов, необходимых для подтверждения отдельных положений теоретических исследований и получения конкретных значений, составление матрицы вариантов состава гидроизолирующей смеси на основе подобранных групп химических веществ, изготовление опытных образцов гидроизолирующей смеси различного химического состава и проведение их лабораторных исследований, разработку предварительной модели технологической схемы промышленного производства гидроизолирующей смеси на базе промышленного предприятия, изготовление опытных партий образцов гидроизолирующей смеси с лучшими показателями (по результатам лабораторных исследований) и проведение испытаний воздействия на строительные материалы и конструкции с последующей оптимизацией гидроизолирующего состава по результатам испытаний.

Для определения заявленных параметров использовалось стандартное лабораторное оборудование для пробоподготовки.

Известны несколько способов пропитки пористого материала.

Первый способ – пропитываемый материал помещают в камеру и вакуумируют, после чего погружают в пропиточную жидкость под вакуумом и выдерживают, затем мгновенно повышают давление до атмосферного впуском воздуха в камеру, вакуумирование и подачу воздуха повторяют несколько раз до достижения заданной пропитки материалов. После пропитки материал извлекают из камеры. В качестве пропиточной жидкости используют битум, петролатум, перед пропиткой их подогревают до жидкого состояния [1].

Недостатками первого способа являются малая адгезия битума и высокая температура пропитки (до 160 °С), а также необходимость использования специальной камеры, что невозможно при нанесении покрытия на очень большие конструкции и изделия.

Второй способ нанесения тонкослойного гидроизоляционного покрытия на основе полимерной серы на пористые строительные материалы, включающий разогрев полимерной серы, сушку и прогрев изделий, размещение их в пропиточной ванне, пропитку и выгрузку изделий, сушку и прогрев изделий осуществляют при температуре 120–125 °С в течение 1–5 мин в вакууме, а пропитку проводят при температуре 130–140 °С в течение 0,5–10 мин, после чего пропитку повторяют, предварительно поворачивая изделие, причем количество пропитки зависит от количества граней изделия [2].

Недостатками второго способа являются необходимость использования высокой температуры, невысокие химическая стойкость и экологическая безопасность серы.

Наиболее близким к предложенному авторами решению является третий способ повышения химической стойкости и прочности бетонных изделий и конструкций путем обработки их поверхностей составом на основе мономеров с иницирующей системой, состоящей из перекиси бензоила и диметиланилина, взятых в отношении 1:0,5, иницирующая система составляет 2 % от массы мономеров, состав для обработки состоит из двух мономеров стирола и метилметакрилата, взятых в мольном отношении 2:1, являющихся сополимерами. Обработку поверхности бетонных изделий и конструкций производят в два этапа с выдержкой в 30 мин между этапами с предварительным прогреванием состава с мономерами при температуре 80 °С и с последующим его остужением при комнатной температуре в течение 15–20 мин, при этом на первом этапе состав с мономерами прогревают в течение 30 мин, а на втором этапе – в течение 60 мин [3].

К недостаткам третьего способа относятся малая химическая стойкость получаемого полимера и недостаточная экологическая безопасность.

Техническим результатом, достигаемым при использовании нового гидроизолирующего покрытия, является повышение стойкости защищаемых конструкций к агрессивным воздействиям в сочетании с

экологической безопасностью самого защитного гидроизолирующего покрытия. Суть изобретения: способ получения гидроизолирующего покрытия пористых поверхностей заключается в том, что гидроизолирующее покрытие, содержащее предварительно активированные и способные к полимеризации жидкие непредельные алифатические углеводороды с температурой кипения выше 100 °С, представляющие собой алкены или их смесь, наносят на пористую поверхность кистью, распылителем и т.п., причем алкены или их смесь иницируют непосредственно перед нанесением на поверхность добавлением 1–2 % перекиси бензоила, предварительно растворенной в растворителе.

В таблице показано изменение массы образцов кубиков бетона с ребром 5 см при выдерживании их в течение 24 ч в 2 % растворе соляной кислоты.

Таблица

Результаты испытания образцов

Тип покрытия	Время экспозиции, ч	Среднее уменьшение массы, % от m цемента
Без покрытия	24	3,12
Полидецилен	24	0,24

Для получения гидроизолирующего покрытия могут быть использованы следующие компоненты: алкен или смесь алкенов C10–C17, по чистоте соответствующих содержанию основного вещества  $\geq 95$  %, перекись бензоила, соответствующая ГОСТ 14888 или с характеристиками чистоты  $\geq 98$  % основного вещества.

Способ заключается в следующем. Осуществляют подготовку гидроизолирующего покрытия. Используют предварительно активированные и способные к полимеризации жидкие непредельные алифатические углеводороды (в индивидуальном виде или в виде смеси) с температурой кипения выше 100 °С. Гидроизолирующее покрытие наносят на пористую поверхность кистью или распылителем. Сразу после нанесения активированной с помощью катализаторов полимеризации смеси алифатических алкенов последние начинают полимеризоваться, образуя сплошное водонепроницаемое покрытие.

Проведены испытания образцов бетона в форме кубиков с ребром 5 см, покрытых защитным гидроизолирующим покрытием, на устойчивость к воздействию двухпроцентного раствора соляной кислоты в течение 24 ч, а именно исследовалось уменьшение массы, связанное с возможным выделением углекислого газа, и внешний вид образцов. Результаты исследований показали, что уменьшение массы образцов не превышает 0,24 % от массы цемента, входящего в их состав. Результаты испытаний приведены в таблице.

Представленные результаты являются оптимальными при равных условиях в сравнении с существующими на рынке технологиями. Аналогичные работы по поисковым исследованиям и созданию новых составов на основе органических смесей, увеличивающих долговечность строительных материалов, конструкций и повышающего их устойчивость к агрессивным факторам природного и техногенного ха-

рактера, проведенные ранее коллективом, приведены в [6–7].

Особенность нового гидроизолирующего покрытия в том, что оно, являясь полиалкеном, обладает повышенной стойкостью к агрессивным воздействиям, инертно и экологически безопасно. На основе полученных данных разработан не только состав гидроизолирующего покрытия, но адаптирована разработанная матрица состава к условиям промышленного производства, позволившая получить эффективное защитное покрытие строительных материалов и конструкций. Применение новой гидроизолирующей смеси позволяет замедлить процесс коррозии строительных материалов и конструкций, что в свою очередь продлевает срок их эксплуатации, снижает риски незапланированных ремонтов и затраты на их проведение. Разработанная гидроизолирующая смесь экологически безопасна и обеспечивает высокую химическую стойкость за счёт высокой инертности материала. Стоимость разработанного материала экономичнее в два раза по сравнению с материалами схожего назначения.

### Литература

1. Патент 2581067 Российская Федерация, МПК С04В 41/48. Способ повышения химической стойкости и прочности бетонных изделий и конструкций : № 2015100946/03 : заявл. 12.01.2015 : опубл. 10.04.2016, бюл. № 10 / Коренькова С. Ф., Рудакова Е. М.; заявитель и патентообладатель СГАСУ.
2. Патент 2562636 Российская Федерация, МПК С04В 41/45. Способ нанесения тонкослойного гидроизоляционного покрытия на основе полимерной
- серы на пористые строительные материалы : №2013135930/03 : заявл. 30.07.2013 : опубл. 10.09.2015, бюл. № 25 / Бусыгин И. Г., Бусыгина Н. В., Юренкова Е. О., Береговая Н. Г., Кузнецов О. А., Межуева Л. В. ; заявитель и патентообладатель ООО «Губкинский инженерно-технический центр».
3. Патент 1463731 СССР, МПК С04В 41/62. Способ пропитки пористого материала : № 3978228; заявл. 1985.11.18 : опубл. 07.03.1989 / Краснов А. М., Буданов Н. П., Четверикова И. В.; заявитель и патентообладатель Марийский политехнический институт им. А. М. Горького.
4. Каран, Г. Л. Effective Design Solutions in the Design of Shallow Foundations / Г. Л. Каран, В. А. Шорин, А. Ю. Вельсовский // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – V. 463. – Issue 2. – P. 022073.
5. Каран, Г. Л. To the question of improvement the normative methodology for calculating the frost resistance of a road structure / Г. Л. Каран, В. А. Шорин, А. Ю. Вельсовский // E3S Web of Conferences. – 2018. – V. 463. – Issue 2. – P. 022073.
6. Study of the temperature mode of a tunnel kiln using new Celsius© thermal sensors / Sinitsyn A., Belyanskiy D., Kiyatkin R. P. [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Proceedings of the Conference the international scientific conference "Efficient waste treatment – 2018" (EWT-2018). – 2019. – P. 012073.
7. Technology for Producing Peat Heat-Insulating Boards Using Organosilicon Polymers / L. Voropai, A. Sinitsyn, G. Tikhonovskaya, O. Yukhtarova // International Conference on Efficient Production and Processing (ICEPP-2020). – Vol. 161. – 2020.

*A.Y. Velsovskij, A.A. Sinitsyn, N.N. Gabibov*

### **DEVELOPMENT OF WATERPROOFING COMPOUND BASED ON ORGANIC POLYMERS THAT INCREASES THE DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND STRUCTURES AND THEIR RESISTANCE TO AGGRESSIVE FACTORS**

The article presents the search studies and the creation of a new waterproofing compound based on organic polymers that increases the durability of building materials and structures and their resistance to aggressive factors of natural and man-made nature.

Waterproofing compound, organic polymers, concrete protection, aggressive environment.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Андреев Александр Николаевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры управляющих и вычислительных систем Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

uvs@vogu35.ru

**Балашов Егор Павлович**

магистрант кафедры электрооборудования Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

balashovegor2013@yandex.ru

**Березовская Елена Михайловна**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительной математики Гомельского государственного университета им. Франциска Скорины (Гомель, Беларусь)

elenaberezovskaya@bk.ru

**Вельсовский Анатолий Юрьевич**

кандидат технических наук, заведующий кафедрой автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

vau@vogu35.ru

**Габиров Нурулла Наджафович**

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

gabibovnn@vogu35.ru

**Дианов Сергей Владимирович**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Вологодского научного центра Российской академии наук (Вологда, Россия)

dianov.sv@mail.ru

**Ковалев Виктор Владимирович**

доктор химических наук, ведущий научный сотрудник, профессор кафедры химической технологии и охраны окружающей среды Молдавского государственного университета (Кишинев, Молдова)

victorcovaliov7@gmail.com

**Ковалева Ольга Викторовна**

доктор химических наук, ведущий научный сотрудник Института химии АН Республики Молдовы (Кишинев, Молдова)

covaleva.olga@yahoo.com

**Колесниченко Дмитрий Александрович**

старший преподаватель кафедры управляющих и вычислительных систем Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

dimakolesnichenko@gmail.com

**Колосов Александр Викторович**

магистрант кафедры информатики и информационных технологий Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

smithv@mail.ru

**Королёв Тимур Викторович**

старший преподаватель кафедры управляющих и вычислительных систем Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

uvs@vogu35.ru

**Кошелева Жанна Владимировна**

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
zhako2006@mail.ru

**Кузьмин Александр Григорьевич**

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой биомедицинской техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
bmt@vogu35.ru

**Мамичев Иван Сергеевич**

магистрант кафедры вычислительной математики Гомельского государственного университета им. Франциска Скорины (Гомель, Беларусь)  
vaniaapple777@gmail.com

**Михалевич Надежда Вениаминовна**

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
nadmix1958@yandex.ru

**Монаркин Николай Николаевич**

старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
nikolay-monarkin@yandex.ru

**Мухамеджонова Шохид Музаффаровна**

преподаватель кафедры алгебры Худжандского государственного университета им. Б. Гафурова (Худжанд, Республика Таджикистан)  
n.akbar54@mail.ru

**Назимов Акбар Багодурович**

доктор физико-математических наук, профессор кафедры математики Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
n.akbar54@mail.ru

**Плясов Алексей Валентинович**

кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования механизмов и деталей машин Тульского государственного университета (Тула, Россия)  
plyasov-a@yandex.ru

**Поварова Ольга Александровна**

старший преподаватель кафедры строительства Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)  
boliaa@mail.ru

**Поляков Тимофей Александрович**

студент Инженерно-технического института Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)  
polyackov.t@yandex.ru

**Попов Игорь Павлович**

старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов Курганского государственного университета (Курган, Россия)  
ip.porow@yandex.ru

**Синицын Антон Александрович**

кандидат технических наук, заведующий кафедрой теплогазоводоснабжения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
sinitsynaa@vogu35.ru

**Соловьев Сергей Александрович**

старший преподаватель, аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
ser6sol@yandex.ru

**Старкова Лариса Евгеньевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры управляющих и вычислительных систем Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
star.53@mail.ru

**Степуков Никита Сергеевич**

аспирант кафедры автоматизации и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
smithv@mail.ru

**Трушин Николай Николаевич**

доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения Тульского государственного университета (Тула, Россия)  
trunikolaj@yandex.ru

**Умаров Максуджон Файзулович**

доктор физико-математических наук, профессор кафедры биомедицинской техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
umma54@rambler.ru

**Чертовской Владимир Дмитриевич**

доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург, Россия)  
vdchertows@mail.ru

**Швецов Анатолий Николаевич**

доктор технических наук, профессор кафедры информатики и информационных технологий Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
smithv@mail.ru

**Шевцов Леонид Сергеевич**

студент Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
leonid98burner@gmail.com

**Шейбухов Станислав Николаевич**

инженер кафедры управляющих и вычислительных систем Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
uvs@vogu35.ru

**Яхричев Виктор Васильевич**

ведущий инженер кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
yahrichev@yandex.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### **Andreev Alexander Nikolaevich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Control and Computing Systems of Vologda State University (Vologda, Russia)  
uvs@vogu35.ru

### **Balashov Egor Pavlovich**

Graduate Student of the Department of Electrical Equipment of Vologda State University (Vologda, Russia)  
balashovegor2013@yandex.ru

### **Berezovskaya Elena Mikhailovna**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Computational Mathematics of Gomel State University F. Skoriny (Gomel, Belarus)  
elenaberezovskaya@bk.ru

### **Velsovsky Anatoly Yuryevich**

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Roads of Vologda State University (Vologda, Russia)  
vau@vogu35.ru

### **Gabibov Nurulla Nadzhafovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Motor Roads of Vologda State University (Vologda, Russia)  
gabibovnn@vogu35.ru

### **Dianov Sergey Vladimirovich**

Candidate of Engineering, Senior Research Associate of Vologda Scientific Centre of the Russian Academy of Science (Vologda, Russia)  
dianov.sv@mail.ru

### **Kovalyov Viktor Vladimirovich**

Doctor of Chemistry, Lead Researcher, Professor of the Department of Chemical Technologies and Environmental Protection of Moldova State University (Kishinyov, Moldova)  
victorcovaliov7@gmail.com

### **Kovalyova Olga Viktorovna**

Doctor of Chemistry, Lead Researcher of the Institute of Chemistry (Kishinyov, Moldova)  
covaleva.olga@yahoo.com

### **Kolesnichenko Dmitry Alexandrovich**

Senior Lecturer of the Department of Control and Computing Systems of Vologda State University (Vologda, Russia)  
dimakolesnichenko@gmail.com

### **Kolosov Alexander Viktorovich**

Master Student of the Department of Informatics and Information Technology of Vologda State University (Vologda, Russia)  
smithv@mail.ru

### **Korolev Timur Viktorovich**

Senior Lecturer of the Department of Control and Computing Systems of Vologda State University (Vologda, Russia)  
uvs@vogu35.ru

**Kosheleva Zhanna Vladimirovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering of Vologda State University (Vologda, Russia)  
zhako2006@mail.ru

**Kuzmin Alexander Grigoryevich**

Doctor of Medicine, Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering of Vologda State University (Vologda, Russia)  
bmt@vogu35.ru

**Mamichev Ivan Sergeevich**

Master student of the Department of Computational Mathematics of Gomel State University F. Skoriny (Gomel, Belarus)  
vaniaapple777@gmail.com

**Mikhalevich Nadezhda Veniaminovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering of the Vologda State University (Vologda, Russia)  
nadmix1958@yandex.ru

**Monarkin Nikolay Nikolaevich**

Senior lecturer of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation of the Institute of Civil Engineering of Vologda State University (Vologda, Russia)  
nikolay-monarkin@yandex.ru

**Mukhamedzhonova Shokhida Muzaffarovna**

Teacher of the Department of Algebra of Khujand State University named after B. Gafurova (Khujand, Republic of Tajikistan)  
n.akbar54@mail.ru

**Nazimov Akbar Bagodurovich**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Mathematics of Vologda State University (Vologda, Russia)  
n.akbar54@mail.ru

**Plyasov Alexey Valentinovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Designing Mechanisms and Machine Parts of Tula State University (Tula, Russia)  
plyasov-a@yandex.ru

**Povarova Olga Aleksandrovna**

Senior Lecturer of the Department of Construction of Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)  
boliaa@mail.ru

**Polyakov Timofey Aleksandrovich**

Student of Construction of Technical Institute of Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)  
polyackov.t@yandex.ru

**Popov Igor Pavlovich**

Senior lecturer of the Department of Machine Building Technology, Metal-cutting Machines and Tools of Kurgan State University  
ip.popow@yandex.ru

**Sinitsyn Anton Alexandrovich**

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Heat, Gas and Water supply of Vologda State University (Vologda, Russia)  
sinitsynaa@vogu35.ru

**Solovyov Sergey Aleksandrovich**

Senior Lecturer, Post Graduate Student of the Department of Industrial and Civil Construction of Vologda State University (Vologda, Russia)  
ser6sol@yandex.ru

**Starkova Larisa Evgenievna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Control and Computing Systems of Vologda State University (Vologda, Russia)  
star.53@mail.ru

**Stepukov Nikita Sergeevich**

Post Graduate Student of the Department of Automation and Computer Engineering of Vologda State University (Vologda, Russia)  
smithv@mail.ru

**Trushin Nikolay Nikolaevich**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Technology of Tula State University (Tula, Russia)  
trunikolaj@yandex.ru

**Umarov Maksudjon Fajzuloyevich**

Doctor of Physics and Mathematics, Professor of the Department of Biomedical Engineering of Vologda State University (Vologda, Russia)  
umma54@rambler.ru

**Chertovskoy Vladimir Dmitriyevich**

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Information Systems of Saint-Petersburg State Electrotechnical University «Leti» named after V.I. Ulyanov (Lenin) (Saint-Petersburg, Russia)  
vdchertows@mail.ru

**Shvetsov Anatoliy Nikolayevich**

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Information Technology and Information Technology of Vologda State University (Vologda, Russia)  
smithv@mail.ru

**Shevtsov Leonid Sergeevich**

Student of the Institute of Engineering Construction, of Vologda State University (Vologda, Russia)  
leonid98burner@gmail.com

**Sheybukhov Stanislav Nikolaevich**

Engineer of the Department of Control and Computing Systems of Vologda State University (Vologda, Russia)  
uvs@vogu35.ru

**Yakhrichev Victor Vasilievich**

Leading Engineer of Technology of Mechanical Engineering Department of Vologda State University (Vologda, Russia)  
yahrichev@yandex.ru



*Научное издание*

ВЕСТНИК ВОЛОГОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Технические науки  
№ 2 (8) / 2020

Главный редактор А. А. Кочкин

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС77-75456 от 05.04.2019 г.  
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций  
(Роскомнадзор)

Подписано в печать 06.07.2020. Выпуск в свет 09.07.2020. Формат 60 × 84/8  
Уч.-изд. л. 8,62. Усл. печ. л. 11,5. Тираж 70 экз. Заказ № 130. Бесплатно

---

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»  
160000, Вологодская область, город Вологда, улица Ленина, дом 15

Отпечатано: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Вологодский научный центр Российской академии наук»  
(ФГБУН ВолНЦ РАН)  
160014, г. Вологда, ул. Горького, 56а  
Тел.: 59-78-03, e-mail: common@vscc.ac.ru