

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.

№ 1 (15) / 2022

СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВОЛОГДА
2022

№ 1 (15) / 2022 / МАЙ. 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)

Серия: Технические науки

Группы специальностей: 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения; 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение; 2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей; 2.1.9. Строительная механика; 2.5.6. Технология машиностроения; 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы; 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации; 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами; 2.3.4. Управление в организационных системах; 2.3.7. Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования.

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, зав. кафедрой промышленного и гражданского строительства, доцент 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:

П.Ю. Бочкарев, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ,
В.Г. Гагарин, д-р техн. наук, чл.-корр. РААСН,
проф. НИИСФ РААСН,
В.А. Горбунов, д-р физ.-мат. наук, проф. ВоГУ,
В.П. Гусев, д-р техн. наук, зав. лаб. НИИСФ РААСН,
Н.М. Дементьев, канд. техн. наук, доц. ВоГУ,
Р.Ю. Добрецов, д-р техн. наук, проф. ИММиТ (СПб),
И.В. Зефирова, канд. техн. наук, доц. ВГМХА
им. Н.В. Верещагина,
А.Ф. Зубков, д-р техн. наук, проф. ТГТУ,
А.Л. Кузьминов, д-р техн. наук, проф. ЧГУ,
А.Г. Кочев, д-р техн. наук, чл.-корр. РААСН,
проф. ННГАСУ,
Л.Н. Кондратьева д-р техн. наук, проф. СПбГАСУ,
В.И. Леденев, д-р техн. наук, проф. ТГТУ,
С.В. Лукин, д-р техн. наук, проф. ЧГУ,
О.В. Мкртычев, д-р техн. наук, проф. НИУ МГСУ,

С.Н. Овсянников, д-р техн. наук, проф. ТГАСУ,
В.П. Подольский заслуженный деятель науки РФ,
д-р техн. наук, проф. ВГТУ,
А.М. Полянский, канд. техн. наук, доц. ВоГУ,
В.А. Пиеничкина, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ,
В.И. Римшин, д-р техн. наук, чл.-корр. РААСН,
проф. НИИСФ РААСН,
А.С. Степанов, канд. техн. наук, доц. ВоГУ,
А.А. Сукончиков, канд. техн. наук, доц. ВоГУ,
Н.Н. Трушин, д-р техн. наук, проф. ТулГУ,
В.Д. Чертовской, д-р техн. наук, проф. ГУМРФ
им. адм. С. О. Макарова,
Д.С. Шишигин, канд. техн. наук, ВоГУ,
С.Л. Шишигин, д-р техн. наук, проф. ВоГУ,
В.А. Шорин, д-р хим. наук, проф. ВоГУ,
И.Л. Шубин, д-р техн. наук, чл.-корр. РААСН,
директор 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: e-mail: vestniktech@vogu35.ru; <http://vestnik.vogu35.ru>

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. 1 (15) / 2022

SERIES: TECHNICAL SCIENCIES

VOLOGDA
2022

No. 1 (15) / 2022 / MAY. 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)

Series: Technical Sciences

Academic areas: 2.1.1. Building constructions, buildings and structures; 2.1.3. Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting; 2.1.8. Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels; 2.1.9. Structural mechanics; 2.5.6. Mechanical engineering technology; 2.5.11. Surface transport and technological means and complexes; 2.3.1. System analysis, management and information processing; 2.3.3. Automation and control of technological processes and productions; 2.3.4. Management in organizational systems; 2.3.7. Computer modeling and design automation

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, Head of the Department of Industrial and Civil Construction, Associate Professor 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:

P.Yu. Bochkaryov, Doctor of Technical Sciences, Prof. of VolgSTU,

V.G. Gagarin, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAACS, prof. of NIISPh of RAACS,

V.A. Gorbunov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Prof. of VSU,

V.P. Gusev, Doctor of Technical Sciences, Head of laboratory of NIISPh of RAACS,

N.M. Dementyev, Ph.D in Technical Sciences, Associate Prof. of VSU,

R.Yu. Dobretsov, Doctor of Technical Sciences, Prof. of IMMiT (St. Petersburg),

I.V. Zefirov, Ph.D in Technical Sciences, Associate prof. of VSDA named after N.V. Vereshchagin,

A.F. Zubkov, Doctor of Technical Sciences, Prof. of TSTU,

A.L. Kuzminov, Doctor of Technical Sciences, Prof. of CHSU,

A.G. Kochev, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAACS, Prof. of NNGASU,

L.N. Kondratiev Doctor of Technical Sciences, Prof. of SPbSUACE,

V.I. Ledenyov, Doctor of Technical Sciences, Prof. of TSTU,

S.V. Lukin, Doctor of Technical Sciences, Prof. of CHSU,

O.V. Mkrtychev, Doctor of Technical Sciences, Prof. of NRU MGSU,

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: e-mail: vestniktech@vogu35.ru; <http://vestnik.vogu35.ru>

S.N. Ovsyannikov, Doctor of Technical Sciences, Prof. of TSUAB,

V.P. Podolsky Honored Worker of Science of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Prof. of VSTU,

A.M. Polyansky, Ph.D in Technical Sciences, Associate prof. of VSU,

V.A. Pshenichkina, Doctor of Technical Sciences, prof. of VolgSTU,

V.I. Rimshin, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAACS, Prof. of NIISPh RAACS,

A.S. Stepanov, Ph.D in Technical Sciences, Associate prof. of VSU,

A.A. Sukonshchikov, Ph.D in Technical Sciences, Associate prof. of VSU,

N.N. Trushin, Doctor of Technical Sciences, Prof. of TulSU,

V.D. Chertovskaya, Doctor of Technical Sciences, Prof. of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,

D.S. Shishigin, Ph.D in Technical Sciences, Prof. of VSU,

S.L. Shishigin, Doctor of Technical Sciences, Prof. of VSU,

V.A. Shorin, Doctor of Chemical Sciences, Prof. of VSU,

I.L. Shubin, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAACS, Director of NIISPh of RAACS

Содержание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Кузьмин А.Г., Умаров М.Ф.</i> НЕЙРОННЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ ИМПЛАНТИРУЕМЫХ СТИМУЛЯТОРОВ	7
<i>Лужинский А.М., Ржеуцкая С.Ю.</i> ПОДХОДЫ К РЕГРЕССИОННОМУ ТЕСТИРОВАНИЮ В ПРОГРАММНЫХ РАЗРАБОТКАХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ SCRUM.....	11
<i>Шишигин Д.С.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРОВОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ.....	14
<i>Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Бойчевский А.В.</i> ОЦЕНКА БЕЗОТКАЗНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОТОКОВ.....	18

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Бормосов Н.А., Лукинов М.М.</i> ОСНОВНЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ	22
<i>Востров А.В., Ботьков А.О.</i> ИЗМЕНЕНИЕ АВАРИЙНОСТИ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ УЛИЦ КОНЕВА И МОЖАЙСКОГО В Г. ВОЛОГДЕ ПОСЛЕ ОРГАНИЗАЦИИ КОЛЬЦЕВОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ.....	28
<i>Казакова И.С.</i> К РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ БАЛОК СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ ИЗ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ.....	34
<i>Капуш И.Р., Семенов А.С.</i> УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ДОЛОМИТА ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ СИНТЕЗА БЕТОНА	39
<i>Михалевич Н.В., Шашкова Л.Э.</i> ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ КИРПИЧНЫХ ФАСАДОВ ЖИЛОГО ДОМА В Г. ВОЛОГДЕ	42
<i>Поляков Т.А., Полуэктова Н.А., Поварова О.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕСЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО АРМИРУЮЩИХ ДОБАВОК В СОСТАВ ОПИЛКОБЕТОНА	47
<i>Синицын А.А., Подольский А.А.</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НАРУЖНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛООВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ	50
<i>Соловьев С.А., Иньков А.Э., Соловьева А.А.</i> АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПРИ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН	53
<i>Соловьева А.А., Ильичев Е.А.</i> УТОЧНЕНИЕ МОДЕЛИ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ НЕПОЛНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	58
<i>Соловьева Е.В.</i> МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА ПРИМЕРЕ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	64

МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>Баев А.С.</i> ИННОВАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ СУДОВ СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.....	69
<i>Колпаков В.Н.</i> ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА РАДИАЛЬНО-ПОРШНЕВОЙ ГИДРОМАШИНЫ	72
<i>Молочников Д.Е., Яковлев С.А.</i> ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ РЕЖИМЫ НАГРУЖЕНИЯ СТенок РЕЗЕРВУАРА	76
<i>Пантилеев С.П., Малышев В.С.</i> ПУТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ И ЭНЕРГОРЕСУРСОВ	79
<i>Попов И.П.</i> ОТВЕСНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ РАСЧЕТА БАЛЛИСТИКИ ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ МАНЕВРЕ.....	83
<i>Яняк С.В., Комиссарова И.И.</i> АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ТИТАНА СО СПЕЦИАЛЬНОЙ СТАЛЬНОЙ СВЯЗКОЙ	86
<i>Сведения об авторах</i>	93

CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGY

<i>Kuzmin A.G., Umarov M.F.</i> NEURAL INTERFACES FOR IMPLANTABLE STIMULATORS.....	7
<i>Luzhinsky A.M., Rzheutskaya S.Yu.</i> APPROACHES TO REGRESSION TESTING IN SOFTWARE DEVELOPMENT BASED ON SCRUM METHODOLOGY	11
<i>Shishigin D.S.</i> MODELLING OF TRANSMISSION LINES LIGHTNING OVERVOLTAGE.....	14
<i>Shpiganovich A.N., Shpiganovich A.A., Boychevsky A.V.</i> ESTIMATION OF POWER SUPPLY SYSTEM RELIABILITY BASED ON PULSE FLOWS THEORY	18

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

<i>Bormosov N.A., Lukinov M.M.</i> BASIC AND PROMISING TECHNOLOGIES OF SOLID HOUSEHOLD WASTE PROCESSING	22
<i>Vostrov A.V., Botkov A.O.</i> CHANGE OF ACCIDENT RATE AT THE INTERSECTION OF KONEVA AND MOZHAISKOGO STREETS IN VOLOGDA AFTER ROUNDABOUT ORGANIZATION	28
<i>Kazakova I.S.</i> ON DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION SOLUTION FOR COMPOSITE BEAMS MADE OF THIN-WALLED STEEL PROFILES.....	34
<i>Kpush I.P., Semenov A.S.</i> VLADIMIR REGION DOLOMITE WASTE DISPOSAL FOR CONCRETE SYNTHESIS	39
<i>Mikhalevich N.V., Shashkova L.E.</i> SURVEY OF RESIDENTIAL HOUSE BRICK FACADES CONDITION IN VOLOGDA	42
<i>Polyakov T.A., Poluektova N.A., Povarova O.A.</i> RESEARCH OF EFFECT OF ADDING SPATIALLY REINFORCING ADDITIVES TO SAWDUST CONCRETE COMPOSITION	47
<i>Sinityn A.A., Podolsky A.A.</i> QUALITY ASSESSMENT OF EXTERNAL CONSTRUCTION FENCES WITH THE USE OF THERMAL NON-DESTRUCTIVE TESTING OF PUBLIC BUILDING	50
<i>Solovyov S.A., Inkov A.E., Solovyova A.A.</i> STEEL TRUSSES ELEMENTS RELIABILITY ANALYSIS BASED ON RANDOM VARIABLES INTERVAL ESTIMATION	53
<i>Solovyova A.A., Ilyichev E.A.</i> RANDOM VARIABLE MODEL UPDATE IN PROBLEMS OF STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS WITH LIMITED STATISTICAL INFORMATION	58
<i>Solovyova E.V.</i> HOUSEHOLD SOLID WASTE MORPHOLOGICAL COMPOSITION ON THE EXAMPLE OF VOLOGDA REGION	64

MECHANICAL ENGINEERING

<i>Bayov A.S.</i> INNOVATIONS IN NEW GENERATION MIXED NAVIGATION SHIPS ENERGY PERFORMANCE.....	69
<i>Kolpakov V.N.</i> DYNAMIC ANALYSIS OF RADIAL PISTON HYDRAULIC MACHINE MECHANISM	72
<i>Molochnikov D.E., Yakovlev S.A.</i> EQUIVALENT MODES OF TANK WALLS	76
<i>Pantileev S.P., Malyshev V.S.</i> WAYS OF NATURAL COLD RATIONAL USE TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION.....	79
<i>Popov I.P.</i> STEERING COMPONENT OF BALLISTICS CALCULATION IN GRAVITATIONAL MANEUVER.....	83
<i>Ianiak S.V., Komissarova I.I.</i> ANALYSIS OF SOLID ALLOYS STRUCTURE ON THE BASIS OF TITANIUM CARBIDE WITH SPECIAL STEEL LIGAMENT	86
<i>Information about the authors</i>	97



НЕЙРОННЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ ИМПЛАНТИРУЕМЫХ СТИМУЛЯТОРОВ

В данной работе исследованы основные требования для конструкции надежного имплантируемого стимулятора с применением нейронных интерфейсов при долгосрочном и при краткосрочном использовании. Представлен краткий обзор безопасного использования стимулирующих электродов, имплантируемых кабелей, выходных каскадов стимулятора, уровня безопасности и работы цепей.

Нейронный интерфейс, имплантируемый стимулятор, контроллер, интегральная микросхема.

В наше время очень немногие знают о такой технологии как нейронные интерфейсы, несмотря на ее огромный потенциал. В основном это связано с ее недостаточным развитием, функционалом и высокой стоимостью самих устройств. Тем не менее, крупные технические компании уже давно занимаются решением этих проблем, а научные институты модернизируют эту технологию. Уровень современных технологий позволяет надеяться, что уже в недалеком будущем нейронные интерфейсы станут частью нашей повседневной жизни.

Нейронный интерфейс – это комплекс средств, предназначенный для обмена информацией между мозгом и внешним устройством. То есть в идеале нейронный интерфейс позволит управлять техникой одной силой мысли или передавать напрямую в мозг звуки, изображения и даже знания, но на практике данная технология еще не настолько развита и не может раскрыть все свои предполагаемые возможности.

Чтобы понять, как работает нейронный интерфейс нужно знать, что мозг отвечает за множество вещей. Он обрабатывает входящие сенсорные стимулы (например: звук, запах, вкус), управляет жизнедеятельностью и движениями тела. Он также отвечает за мышление, память, эмоции и тому подобное. Примечательно, что эти мощные, но изысканно тонкие способности возникают в результате электрических и химических взаимодействий между примерно 100 миллиардами клеток, из которых состоит наш мозг. Каждое такое взаимодействие отражается в регистрируемой активности мозга, а нейронный интерфейс регистрирует эту активность в различных областях головного мозга и переводит ее в команды управления внешним устройством или, наоборот, переводит внешние команды в электрическую активность головного мозга [1].

Переводчиком и одновременно анализатором информации в нейронном интерфейсе всегда выступает компьютер со специализированной программой. Про-

грамма должна уметь подстраиваться под особенности мозга каждого пользователя (несмотря на общие анатомические схемы и синоптические взаимодействия, точный образец связей и взаимодействий мозга уникален у каждого человека).

В настоящее время множество людей во всем мире страдает от невралгических дисфункций из-за травм и заболеваний. Например, повреждение спинного мозга, при котором нарушается нормальный путь между мозгом и мышцами или сенсорными клетками, является одним из самых тяжелых заболеваний. Повреждение спинного мозга не только физически и психологически разрушительно для отдельных пациентов, оно создает значительную экономическую проблему для общественной системы здравоохранения. Существует постоянная необходимость в новых технологиях для лечения и облегчения реабилитации.

Для страдающих параличом нижних конечностей прямой контроль над некоторыми частями тела из-за повреждений невозможен, что ведет к потере чувствительности и мышечного контроля. Тем не менее, большинство нервов и мышц ниже места повреждения по-прежнему могут функционировать и могут искусственно стимулироваться соответствующими нейронными стимуляторами для восстановления утраченных функций. Поэтому исследования в области нейронных стимуляторов являются актуальными.

Благодаря КМОП-технологии подавляющее большинство стимулирующей электроники может быть интегрировано в небольшой кремниевый чип, способный управлять многими электродами и генерировать сложные схемы стимуляции. Однако при этом могут возникнуть проблемы электрической безопасности, особенно на участках вблизи стимуляции, т.е. стимулирующих электродов, имплантируемых кабелей и выходных каскадов стимулятора [2].

Целью настоящей статьи является изучение важных требований для конструкции надежного имплантируемого стимулятора с применением нейронных интерфейсов при долгосрочном и при краткосрочном

использовании. Для достижения поставленной цели рассматриваются и сравниваются различные методы и решения построения надежных и прочных нейронных интерфейсов стимуляции с точки зрения сложности системы, уровня безопасности и качества работы схемы.

Тот простой факт, что электрические изменения, описываемые как ионные токи или как нейронные сигналы напряжения, являются причиной нейронных связей в организме, дает возможность использовать электрическую стимуляцию для того, чтобы имитировать нормальную нервную деятельность мышц. При размещении стимулирующих электродов в возбудимой нервной ткани электрических стимулов через эти электроды становится возможным генерировать возбуждение или торможение нервных мишеней. Если электрическая стимуляция нацелена на нервы, возбуждающие периферические мышцы, для того чтобы заместить или восстановить утраченные функции пациентов с неврологическими нарушениями, то она называется функциональной электростимуляцией (ФЭС).

В ФЭС возбуждение нервов и мышц вызывается скорее искусственными электрическими стимулами, а не произвольными нейронными сигналами стимуляции. За последние десятилетия ФЭС была одобрена в качестве полезного метода восстановления нервных функций. Она включает в себя восстановление хвата руками, контроля положения и походки, дыхания, мочевого пузыря и т.д. [3].

Существуют поверхностные стимуляторы (внешний блок стимуляции со стимулирующими электродами, помещенными на поверхность кожи), полуимплантируемые стимуляторы (внешний блок стимуляции с имплантированными стимулирующими электродами) и полностью имплантируемые стимуляторы (имплантированный блок стимуляции с имплантированными стимулирующими электродами). По сравнению с поверхностными стимуляторами имплантируемые стимуляторы имеют несколько уникальных преимуществ:

1. Имплантируемый стимулятор значительно упрощает престаимуляцию и постстимуляцию, из-за отсутствия необходимости повторного размещения и удаления стимулирующих электродов. Таким образом, имплантируемые стимуляторы являются более удобными для пациентов.

2. Имплантация позволяет осуществить почти целевое размещение стимулирующих электродов вблизи мишени, обеспечивая лучшую селективность.

3. Полная имплантация позволяет избежать транскожных кабелей, которые могут занести инфекцию.

Имплантируемые стимуляторы в настоящее время широко используются в клинических испытаниях. Развитие имплантируемых стимуляторов значительно выиграло от внедрения достижений в области технологий интегральных микросхем и однокристалльных систем, которые имеют высокоплотную интеграцию электрических компонентов с малым расходом энергии. Размер имплантируемых стимуляторов за последние годы значительно уменьшился, что существенно упростило имплантацию этих устройств [4].

На рисунке приведена упрощенная блок-схема имплантируемой системы стимуляции для ФЭС-систем. Полная система стимуляции состоит из внешнего блока и имплантированного устройства, снаружи и внутри человеческого тела, соответственно. На рисунке также показаны основные модули во внешнем и имплантируемом устройствах. Из-за высокой мощности (> 1 мВт), необходимой для системы ФЭС, ограниченная емкость маленькой внутренней батареи может оказаться недостаточной для стимуляций на регулярной основе (ежедневно). Поэтому имплантируемые устройства обычно индуктивно заряжаются на радиочастоте во время стимуляции или внутренняя батарея – в свободное время (период отсутствия стимуляции, например, ночью, когда пациент спит) за счет индуктивной связи. Индуктивная передача энергии реализуется по существу трансформатором, состоящим из двух катушек с магнитной связью (рис.).

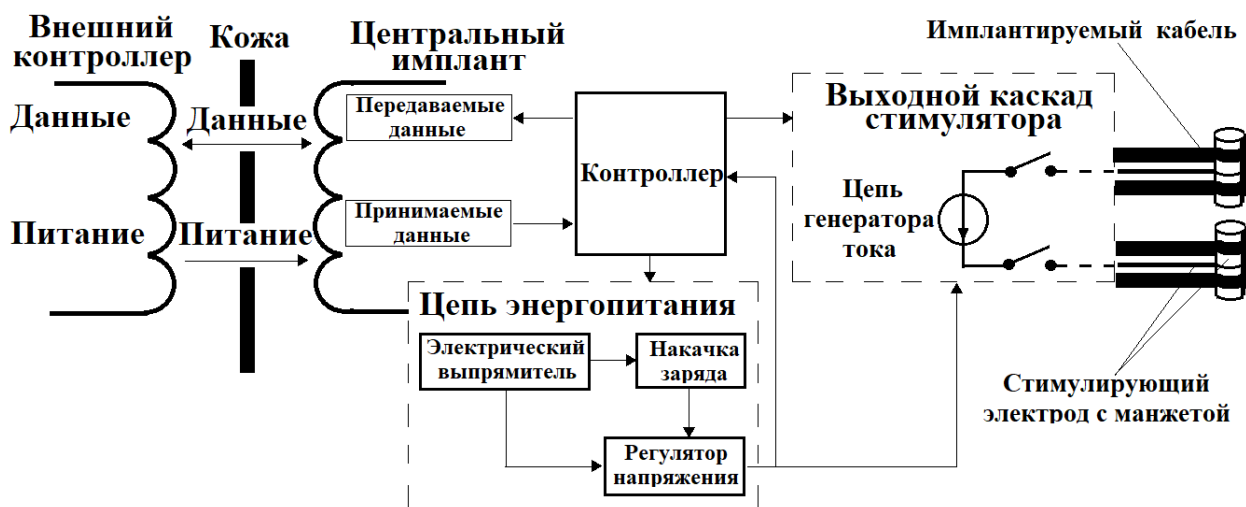


Рис. Упрощенная блок-схема имплантируемой системы стимуляции для функциональной электростимуляции

Одна из катушек встраивается в имплантируемое устройство, в то время как внешняя катушка располагается для эффективной передачи энергии по одной линии с внутренней катушкой. Полученное переменное напряжение через настроенную катушку далее преобразуется в напряжение постоянного тока электрическим выпрямителем в блоке восстановления энергии. Затем выходное напряжение выпрямителя выстраивается или подстраивается к одному или более уровням необходимого постоянного напряжения или усиливается до более высокого уровня напряжения перед регулированием, если требуемое напряжение источника питания выше, чем выходное напряжения выпрямителя. Перезаряжаемые источники постоянного тока обеспечивают энергию, необходимую для работы других модулей и цепей имплантированного устройства, таких как блок передачи/приема данных, цифровой блок управления и выходной каскад стимулятора.

Нисходящая цепь приема данных позволяет внешнему блоку дистанционно управлять имплантированным устройством. Контроллер интерпретирует команды стимуляции из полученных данных и настраивает выходной каскад стимулятора на генерирование соответствующих импульсов стимуляции.

Команды стимуляции обычно представляют широкий диапазон различных профилей стимуляции (например, амплитуда и продолжительность тока стимула) для того, чтобы соответствовать различным требованиям каждого пациента со специфическими состояниями при повреждении спинного мозга. Цепь приема данных – только односторонняя связь, при которой данные передаются от внешнего блока к имплантированному устройству. Но также желательно передавать внутреннюю регистрируемую информацию на внешний блок посредством восходящей цепи передачи данных. Типичные данные, передаваемые на внешний блок, включает в себя информацию о влажности внутри модуля импланта, сопротивлении электрода и состоянии источника питания. Эта информация помогает изучить эффективность стимуляции и контролировать статус импланта. Полученная информация анализируется внешним устройством, которое при необходимости может изменять команды стимуляции нисходящей цепи приема данных. Таким образом, двойной коммуникационный способ делает возможным управление имплантированным устройством с обратной связью.

Другой важный модуль в имплантированных устройствах – это выходной каскад стимулятора (рис.), являющийся функционально самым близким блоком к биологическому интерфейсу (стимулирующие электроды и ткань). Он отвечает за генерирование электрических импульсов стимуляции согласно командам, полученным от блока управления, и подает сигнал стимула к импедансу ткани.

Цепь генератора тока – ключевой блок выходного каскада стимулятора. Она преобразовывает цифровые сигналы управления в аналоговый стимулирующий ток или напряжение и передает их в цепь выходного

каскада, которая находится в прямом контакте со стимулирующими электродами и нервной тканью.

В большинстве имплантируемых систем стимуляции небольшие стимулирующие электроды размещаются в месте стимуляции рядом с мышцами или нервами-мишенями, в то время как стимулятор помещается в более свободное или удобное место. Как видно из рисунка, стимулятор связывается с электродами через имплантируемые кабели. Эти кабели состоят из нескольких проводников, несущих ток стимула к электродам или от них. При дипольной конфигурации электродов для каждого канала стимуляции потребуется два специально выделенных проводника, чтобы обеспечить цепь стимуляции.

Таким образом, N-канальный стимулятор имеет 2N проводов между стимулятором и электродами. Если каждый кабель содержит m проводов, то потребуется 2N/m кабелей. Количество требуемых кабелей будет еще больше, если применяется трехполюсная конфигурация (два анодных электрода и один катодный электрод). Из-за хирургической сложности имплантации большого числа кабелей число каналов стимуляции часто ограничивается максимальным количеством кабелей, которые могут быть имплантированы [5].

Использование стимулирующих электродов в среде нервной ткани должно гарантировать, что желательные физиологические эффекты получены и максимизированы, в то время как отрицательные эффекты остаются ниже опасного уровня. Рассмотрим общие требования техники безопасности, относящиеся ко всем имплантированным электродам (такие как, например, биологическая совместимость), и работу электрода при стимуляции.

Во время стимуляции через стимулирующие электроды проходит большое количество заряда. Для нервного возбуждения хороший стимулирующий электрод должен выносить достаточное количество заряда стимула без превышения предела безопасности электрода. Максимальный чистый заряд (Q_{max}), который может выдерживать электрод не вызывая каких-либо необратимых электрохимических реакций на интерфейсе электрод/ткань и самом электроде, равен $Q_{max} = q \cdot S$, где q и S – геометрическая плотность заряда и площадь поверхности электрода, соответственно. Например, платиновые электроды имеют предел плотности заряда 0,05-0,15 мКл/см². При любом клиническом применении допустимая максимальная плотность заряда используемого электрода должна быть выше, чем при практическом использовании, для безопасной стимуляции разница между практически используемой прочностью и пределом должна быть по возможности большой [6].

С точки зрения безопасной стимуляции помимо плотности заряда также важна величина заряда за фазу. Заряд стимула за фазу вычисляется интеграцией тока стимула за время фазы стимуляции (ширина импульса), он равен произведению амплитуды тока и ширины импульса, если стимулирующий ток постоянный. Результаты показали существенную корреляцию между

повреждением ткани первого порядка и зарядом за фазу. На основе экспериментов установлено, что пороги для возбуждения и повреждения кохлеарного нейрона равнялись 1 и 3 нКл/фазу соответственно. Оказывается, тяжесть повреждения ткани увеличивается с увеличением заряда за фазу. Таким образом, при стимуляции лучше всего использовать такую величину заряда за фазу, которая слегка превышает порог возбуждения. Это не только экономит расход питания, но и является более безопасным с точки зрения повреждения нерва [6].

Генератор тока ответственен только за генерирование стимулирующих токов, в то время как цепь выходного каскада – это проводник стимулирующего тока к нервной ткани безопасным способом. Безопасный импульс стимуляции, передаваемый ткани, должен быть уравновешен зарядом. Однако идеальный баланс заряда трудно получить. Различные факторы, включая неисправность полупроводника, ошибки программного обеспечения в микроконтроллере имплантата, изменения параметров после имплантации и повреждение кабелей, могут вести к неустойчивости заряда. Результат неустойчивости заряда разрушителен, потому что любое лишнее накопление заряда со временем приводит к повреждениям и на стимулирующих электродах и в нервной ткани. Сам электрод, если он перегружен, может распасться в растворе. Мерой обеспечения безопасности против неустойчивого заряда в выходном каскаде стимулятора является проведение мониторинга на интерфейсе стимулятор/электрод/ткань. Измеренный выходной параметр сравнивается с предопределенным эталонным значением, результат сравнения используется в качестве входного сигнала для управления следующей фазой стимуляции. В следующей фазе может быть выключена цепь выходного каскада стимулятора, чтобы предотвратить повреждение нервов или увеличен дополнительный ток в желаемом направлении, чтобы нейтрализовать чистый заряд. Преимущество этого подхода состоит в экономии объема, поскольку схема управления может быть объединена со схемой выходного каскада стимулятора на единственном кремниевом чипе.

Конечная цель ФЭС – достижение более естественного контроля движения парализованных мышц. Это, конечно, требует многоканального стимулятора, который может стимулировать большое количество нервов и зависит от особенности схемы генератора

тока. Установлено, что желательными особенностями схемы генератора тока для эффективного использования в имплантируемых стимуляторах являются следующие [7]:

- соответствие требованию малого выходного напряжения;
- высокое выходное сопротивление;
- хорошая линейность;
- низкий расход питания;
- небольшая площадь кремниевой пластины.

Одно из самых важных требований для конструкции имплантируемого стимулятора – надежность в интерфейсах с нервами и при долгосрочном и при краткосрочном использовании. Безопасная система стимуляции должна поддерживать оригинальные свойства имплантируемых устройств, стимулирующих электродов и нервной ткани. Это необходимо во избежание любых неблагоприятных результатов, которые могут нанести вред стимуляции. Поскольку технологии развиваются, ожидается, что появятся новые решения в области схем и систем. Однако прежде чем любое новое решение будет применено к людям, оно должно быть подвергнуто полной оценке его надежности в испытаниях *in vivo* и *in vitro*.

Литература

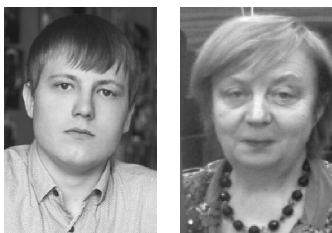
1. Parastarfeizabadi, M. Advances in closed-loop deep brain stimulation devices / M. Parastarfeizabadi, A. Z. Kouzani // *J NeuroEngineering Rehabil.* – 2017. – V. 14. – № 1. – P. 1–20.
2. Parastarfeizabadi, M. A miniature low-power multi-biomarker-based brain sensor for closed-loop DBS / M. Parastarfeizabadi, A. Z. Kouzani // *IEEE Sensors Journal.* – 2017. – V. 17. – № 10. – P. 3109–3115.
3. McCreery, D. B. Arrays for chronic functional microstimulation of the lumbosacral spinal cord / D. B. McCreery, V. Pikov, A. Lossinsky, L. Bullara, W. Agnew // *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* – 2004. – V. 12. – № 2. – P. 195–207.
4. Beggs, J. M. Neuronal avalanches in neocortical circuits / J. M. Beggs, D. Plenz // *The Journal of neuroscience.* – 2003. – V. 23. – № 35. – P. 111672–11177.
5. Simonov, A. Y. Model of the appearance of avalanche bioelectric discharges in neural networks of the brain / A. Y. Simonov, V. B. Kazantsev // *JETP Letters* – 2011. – V. 93. – № 8. – P. 470–475.

A.G. Kuzmin, M.F. Umarov
Vologda State University

NEURAL INTERFACES FOR IMPLANTABLE STIMULATORS

In this paper the basic requirements for the design of a reliable implantable stimulator using neural interfaces for both long-term and short-term use are investigated. A brief overview of the safe use of stimulating electrodes, implantable cables, output stages of the stimulator, the level of safety and operation of circuits is presented.

Neural interface, implantable stimulator, controller, integrated circuit.



ПОДХОДЫ К РЕГРЕССИОННОМУ ТЕСТИРОВАНИЮ В ПРОГРАММНЫХ РАЗРАБОТКАХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ SCRUM

В статье анализируются существующие подходы к регрессионному тестированию в программных проектах, выполняемых с использованием методологии Scrum. В дополнение к имеющимся подходам представлена вероятностная модель взаимодействия между модулями в процессе функционирования программного продукта, использование которой позволит сократить сроки и повысить качество регрессионного тестирования.

Методология Scrum, регрессионное тестирование, тестирование на основе моделей, взаимодействие между модулями.

Большая часть ИТ-компаний в процессе разработки программного обеспечения использует гибкие методологии (Agile). Одной из наиболее известных и востребованных гибких методологий является Scrum, которая регламентирует основные принципы организации процесса разработки, позволяющие в короткие по времени итерации (спринты) предоставлять конечному пользователю работоспособное программное обеспечение, дополненное какими-либо новыми функциональными возможностями. С помощью данной методологии можно постепенно наращивать функционал программного продукта в тесной коммуникации между заказчиком и участниками проекта.

В методологии Scrum важная роль отводится регрессионному тестированию, которое помогает командам убедиться, что новые функциональные возможности, добавленные в очередном спринте, не нарушили уже существующую функциональность [1, 4].

В данной статье анализируются существующие подходы к регрессионному тестированию применительно к Scrum-проектам и предлагается способ тестирования, основанный на вероятностной анализе взаимосвязи между программными единицами в процессе функционирования программного продукта.

При проведении регрессионного тестирования в Scrum-проекте важно как можно более точно выделить программные модули, которые затронули изменения в коде в очередном спринте, а также те модули, которые могут быть затронуты изменениями при наращивании функционала в следующих спринтах. В противном случае придется постоянно тестировать весь код, что более затратно по времени. Также важно выбрать проверки, которые можно автоматизировать. При этом не пренебрегать и так называемым исследовательским тестированием, которое выполняется вручную и помогает лучше понять логику построения и функционирования программного продукта.

Но даже при успешном выполнении всех перечисленных рекомендаций Scrum-команды могут столкнуться с рядом сложностей. Основная из них – возрастающий от спринта к спринту объем регрессии [3]. На крупных проектах с каждым новым спринтом объем

регрессионного тестирования будет существенно увеличиваться. Чтобы уложиться в сжатые сроки тестирования в пределах короткого спринта, важно пересматривать тест-кейсы, добавлять новые и удалять устаревшие. В этом процессе требуется непрерывная коммуникация между бизнес-аналитиками, разработчиками и тестировщиками, входящими в проектную команду.

Основой для организации продуктивного взаимодействия всех участников команды проекта может стать тестирование на основе моделей, представляющих структурные и поведенческие аспекты разрабатываемого программного продукта [2]. В качестве широко известных примеров моделей можно назвать диаграммы универсального языка моделирования UML.

В рамках данной статьи представим подход авторов, основанный на математическом моделировании взаимосвязи между программными единицами (модулями) внутри программного продукта. Цель такого моделирования – выделение наиболее значимых программных модулей проекта, которые активнее других используются при реализации различного функционала, следовательно, оказывают наибольшее влияние на функционирование всего продукта в целом. При регрессионном тестировании любые изменения в модулях, выделенных в качестве значимых, должны тестироваться с повышенным вниманием и полным покрытием тестами, желательно автоматизированными. Важно подчеркнуть, что предлагаемый способ моделирования является полезным дополнением к уже существующим подходам к тестированию на основе моделей с целью повышения их эффективности.

Сначала введем несколько определений. Под программной единицей (модулем) будем подразумевать любую подпрограмму, оформленную в строгом соответствии с правилами используемого в проекте языка программирования. Это может быть функция, процедура или метод при объектно-ориентированном подходе к программированию. Тестирование программного кода модуля заключается в проверке корректности работы модуля на различных наборах тестовых данных (выполнении тест-кейсов).

В любом программном модуле можно использовать две различные группы данных:

1. Данные, которые могут использоваться как в самом модуле, так и во внешнем окружении. В эту группу входят параметры подпрограммы, результат, возвращаемый функцией, глобальные переменные или поля класса, значения которых могут измениться при работе модуля.

2. Локальные данные, используемые только внутри модуля, скрытые для внешнего окружения.

Большинство программных модулей содержит в своем коде вызовы других модулей. Это обстоятельство существенно усложняет процесс локализации ошибок в модуле, поскольку заранее не известно, произошла ли ошибка в вызываемом модуле или ему были переданы на вход неправильные исходные данные. Для упрощения процедуры локализации ошибок в модуле стоит ввести контроль для вызываемых модулей: необходимо проверять правильность входных и соответствующих им выходных данных. Такой подход позволит сократить объем анализируемого кода, а также более точно указать место возникновения ошибки.

Поскольку в современном программном обеспечении количество модулей очень велико, реализовать для них всех модульные тесты за разумное время, ограниченное временем спринта, не представляется возможным. В связи с этим и возникает актуальная проблема определения наиболее значимых с точки зрения регрессионного тестирования модулей. Выполнение первоначального и более тщательного тестирования наиболее значимых модулей позволит сократить время тестирования, повысив общее качество тестируемой системы. Таким образом, существует необходимость создания алгоритма выделения наиболее значимых модулей.

Для создания такого алгоритма сначала представим математическую модель взаимосвязи между модулями в процессе функционирования программного продукта. Очевидно, что этот процесс имеет вероятностную природу, поэтому воспользуемся теорией вероятностей.

Рассмотрим две программные единицы (модуля) M_1 и M_2 , при этом модуль M_2 (вызывающий) содержит в своем коде вызов модуля M_1 (назовем его вызываемым). Пусть вызываемый модуль возвращает n выходных данных, а вызывающий модуль использует m из них. Предположим, что вызываемый модуль содержит ошибку, в результате которой будут получены неверные выходные данные. Найдем вероятность того, что вызывающий модуль будет использовать ошибочные данные после окончания работы вызываемого модуля. При этом допустим, что вероятности получения ошибки в любом из n выходных данных вызываемого модуля одинаковы.

Будем рассматривать такие события:

A – «Вызывающий модуль будет использовать ошибочные выходные данные, полученные при работе вызываемого модуля».

B – «Вызываемый модуль обязательно содержит ошибку» (иными словами, вероятность $P(B) = 1$).

Введем гипотезы H_i – «Количество ошибочных результатов в вызываемом модуле равно i ». Посколь-

ку вероятности получения ошибки в любом результате одинаковы, то $P(H_i) = (P(H_1))^i$. На основании формулировки гипотез можно получить выражение:

$$\sum_{i=1}^n P(H_i) = 1 \Rightarrow \sum_{i=1}^n P(H_1)^i = 1, \quad (1)$$

тогда вероятность $P(H_1)$ – корень уравнения $x + x^2 + \dots + x^n = 1$.

В таблице приведены значения вероятностей $P(H_i)$ для n от 1 до 5, вычисленные на основе соотношения (1).

Таблица

Значения вероятностей $P(H_i)$

$n = 1$	$P(H_1) = 1$
$n = 2$	$P(H_1) = 0,618; P(H_2) = 0,382$
$n = 3$	$P(H_1) = 0,5437; P(H_2) = 0,2956; P(H_3) = 0,1607$
$n = 4$	$P(H_1) = 0,5188; P(H_2) = 0,2692; P(H_3) = 0,1396; P(H_4) = 0,0724$
$n = 5$	$P(H_1) = 0,5087; P(H_2) = 0,2588; P(H_3) = 0,1316; P(H_4) = 0,067; P(H_5) = 0,0339$

Используя формулу полной вероятности, получаем:

$$P(A|B) = \sum_{i=1}^n \left(P(A|H_i) \cdot P(H_i) \right). \quad (2)$$

В формуле (2) выражение условной вероятности в зависимости от принятых гипотез H_i можно оценить следующим образом:

$$P(A|H_i) = \begin{cases} 1, & i > n - m \\ \frac{m \cdot i}{n}, & i \leq n - m \end{cases}. \quad (3)$$

Таким образом, можно получить выражение для условной вероятности события A в зависимости от события B :

$$P(A|B) = \sum_{i=1}^{n-m} \left(\frac{m \cdot i}{n} \right) + \sum_{i=n-m+1}^n \left(P(H_i)^i \right). \quad (4)$$

Полученное нами выражение (4) позволяет ввести новую метрику, которая показывает, насколько велико влияние возможных ошибок в каждом конкретном модуле M на функционирование программного продукта:

$$\mu(M) = \sum_j P(A_j | B), \quad (5)$$

где событие A_j формулируется так – «Модуль M_j будет использовать ошибочные данные, полученные в результате работы модуля M »; событие B – «Модуль M обязательно содержит ошибку (вероятность ошибки равна единице)».

Однако такая метрика еще не полностью характеризует значимость модуля и важность его первоочередного полноценного тестирования, поскольку не учитывает сложность конкретного программного кода

и, следовательно, вероятность наличия ошибки в программном модуле.

Например, короткая, но достаточно часто используемая в сторонних модулях функция, и более объемная функция, но используемая намного реже, могут иметь одинаковые метрики, подсчитанные по формуле (5). Но для короткой функции вероятность того, что в ней нет ошибки, намного выше. В то время как вторая функция представляется более «опасной» с точки зрения возможности наличия в ней ошибок.

Таким образом, для определения значимости модуля в процессе регрессионного тестирования следует использовать также дополнительный параметр, характеризующий сложность модуля. Существуют различные метрики, позволяющие оценить сложность программного кода, некоторые из них представлены в [1].

Пусть k – коэффициент, характеризующий сложность программного кода модуля, подсчитанный по одной из существующих метрик (выбор метрики – тема отдельного обсуждения). Тогда можно представить окончательную формулу для расчета значимости модуля с точки зрения процесса регрессионного тестирования программного продукта:

$$\mu(M) = k \cdot \sum_j P(A_j | B). \quad (6)$$

Опираясь на полученную метрику (6), можно предложить алгоритм ранжирования программных модулей по степени их значимости в процессе регрессионного тестирования в Scrum-проектах. Он будет состоять в подсчете метрики значимости для каждого модуля по приведенной выше формуле с последующей сортировкой результатов по убыванию. Полученные результаты позволят выделить наиболее значимые модули, для которых целесообразно подготовить автоматизированные тесты, а также отсеять маловажные модули, проверку которых проще выполнить вручную. Уровень значимости программного модуля, ниже которого модули можно признать мало

значимыми для программного продукта, определяется в каждом проекте на основе результатов анализа.

Результаты экспериментов по применению предложенного алгоритма в процессе регрессионного тестирования в Scrum-проектах показывают, что лежащая в его основе модель взаимодействия между модулями позволяет с высокой степенью достоверности определять значимость программных модулей и выделять те из них, которые талят в себе потенциальную опасность и должны быть подвергнуты первоочередному, особо тщательному тестированию. Эксперименты в данном направлении продолжаются. В конечном итоге, предлагаемое расширение традиционных подходов к регрессионному тестированию в Scrum-проектах позволит повысить качество протестированного программного кода и уложиться в разумные сроки тестирования. Качественное регрессионное тестирование позволит компании, работающей по методологии Scrum, поднять свою конкурентоспособность на рынке программных разработок.

Литература

1. Звездин, С. В. Проблемы измерения качества программного кода / С. В. Звездин // Вестник Южно-уральского государственного университета. – 2010. – № 2. – С. 82–86.
2. Кулямин, В. В. Архитектура среды тестирования на основе моделей, построенная на базе компонентных технологий / В. В. Кулямин // Труды института системного программирования. – Москва, 2010. – Т. 18. – С. 9–43.
3. Литвинова, О. Оптимизация регрессионного тестирования в гибкой разработке / О. Литвинова. – Текст электронный // Корпорация ScienceSoft USA [сайт]. – URL: <https://www.scnsoft.com/software-testing/regression-testing-in-agile-development> (дата обращения: 10.02.2022).
4. Сергушичева, А. П. Технологии разработки программного обеспечения : учебное пособие / А. П. Сергушичева. – Вологда : ВоГУ, 2019. – 92 с.

A.M. Luzhinsky, S.Yu. Rzhetskaya
Vologda State University

APPROACHES TO REGRESSION TESTING IN SOFTWARE DEVELOPMENT BASED ON SCRUM METHODOLOGY

The article analyzes the existing approaches to regression testing in software projects performed with the use of Scrum methodology. In addition to the existing approaches, a probabilistic model of interaction between modules in the process of functioning of the software product is presented; the use of which will reduce the time and improve the quality of regression testing.

Scrum methodology, regression testing, model-based testing, interaction between modules.



МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРОВОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Выполнено моделирование грозовых перенапряжений воздушных линий при ударе молнии в опору воздушной линии. Исследована очередность перекрытия изоляции фаз опоры воздушной линии. Исследованы варианты расстановки ОПН на опорах воздушных линий.

Воздушная линия, опора, грозовые перенапряжения, моделирование.

Удар молний в опору воздушной линии (ВЛ) или грозозащитный трос может привести к перекрытию изоляции опоры. На проводах возникает волна перенапряжения, представляющая опасность для электрооборудования электрической подстанции. Кроме того, возможно возникновение устойчивой дуги, которая ведет к короткому замыканию с последующим отключением ВЛ. Для защиты от перенапряжений используют ОПН (ограничитель перенапряжения нелинейный). Они включаются между проводами и опорой ВЛ. В нормальном режиме сопротивление ОПН очень велико (он «закрыт»), при перенапряжениях сопротивление ОПН резко снижается (он «открывается»), тем самым обеспечивается стекание сверхтоков через заземлитель опоры в землю.

Целью работы является моделирование грозовых перенапряжений, возникающих при ударе молнии в опору ВЛ, а также выбор оптимального количества и расположения ОПН. Будем решать данную задачу в программе «ЗУМ» [1]. Программа обладает возможностями 2D- и 3D-моделирования и визуализации результатов в AutoCAD [2].

Расчетная модель представляет собой линию 110 кВ с пятью опорами и одним грозозащитным тросом (рис. 1).

Расстояние между опорами 200 м. Чтобы исключить отражения, линия продлена в обе стороны на 1 км. Модель ОПН представляет собой нелинейное сопротивление с заданной вольт-амперной характеристикой. Изоляция моделируется ключом. Когда напряжение на гирлянде изоляторов превысит напряжение вольт-секундной характеристики изоляций, ключ замыкается. Линейный импульс тока молнии 100 кА с фронтом 10/350 мкс вводится в вершину центральной опоры.

Выполним расчет потенциалов центральной опоры и ее проводов в хорошо проводящем ($\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) и плохо проводящем ($\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) грунте (рис. 2). По рисунку 2а видно, что в хорошо проводящем грунте напряжение на проводах растет за счет наведенного напряжения троса, однако перекрытия изоляции не происходит. Можно сделать вывод, что в таком грунте опасности для электрооборудования электрической подстанции нет.

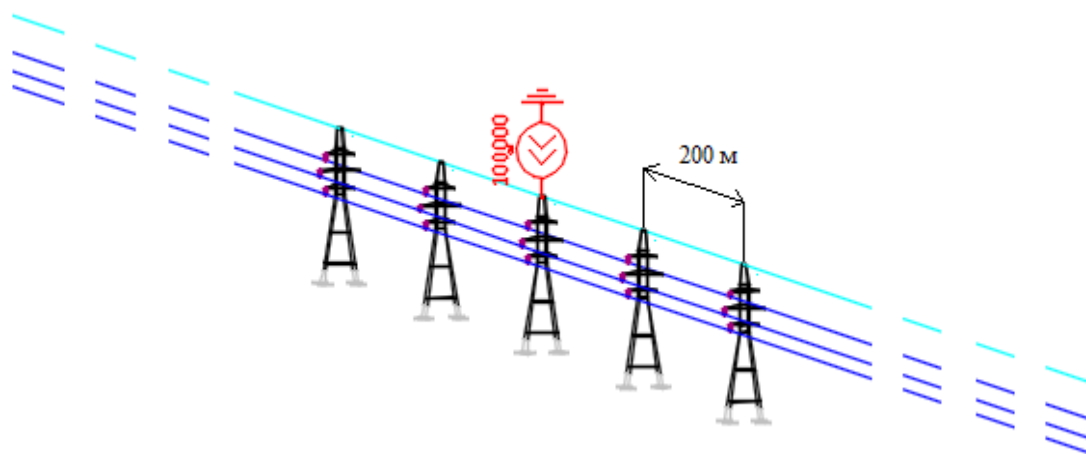


Рис. 1. Модель ВЛ 110 кВ при ударе молнии

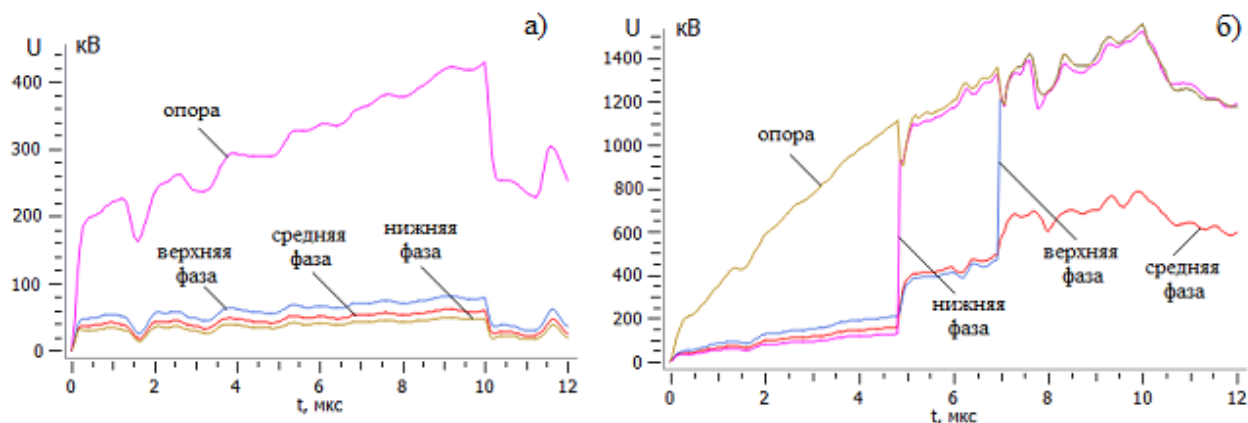


Рис. 2. Потенциалы проводов и опоры ВЛ при ударе молнии с током 100 кА в вершину опоры:
а) $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; б) $\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

В плохо проводящем грунте (рис. 2б) первой перекрывается нижняя фаза (момент времени 4,8 мкс). Затем перекрывается верхняя фаза (момент времени 7 мкс). Средняя фаза перекрыться не успела, поскольку ток молнии растет только до 10 мкс.

Рассмотрим три способа расстановки ОПН, рекомендованных в [3]. Все ОПН устанавливаются параллельно гирлянде изоляторов.

1. Установим ОПН через одну опору в каждую фазу. Выполним моделирование удара молнии в центральную (незащищенную) опору. Результат представлен на рисунке 3.

Результат моделирования практически не отличается от результата на рисунке 2а (без ОПН). Это связано с тем, что опоры расположены слишком далеко друг от друга, поэтому ОПН соседних опор не оказывают влияния на перекрытие незащищенной опоры.

2. Установим ОПН в верхние и нижние фазы всех опор. Результат представлен на рисунке 4.

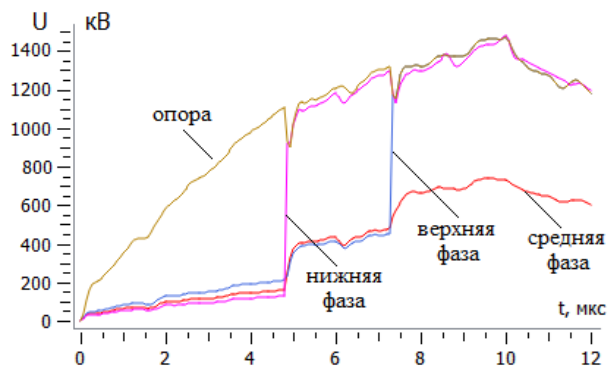


Рис. 3. Потенциалы проводов и центральной опоры при ударе молнии (ОПН во всех фазах через одну опору)

По рисунку видим, что верхняя и нижняя фазы теперь не перекрываются. Средняя фаза перекрывается в момент времени 8,5 мкс. Это близко к фронту тока волны (10 мкс). При меньших токах молнии или при грунте с большей проводимостью эта фаза перекрыться не успеет.

3. Установим ОПН во все фазы всех опор. Результат представлен на рисунке 5.

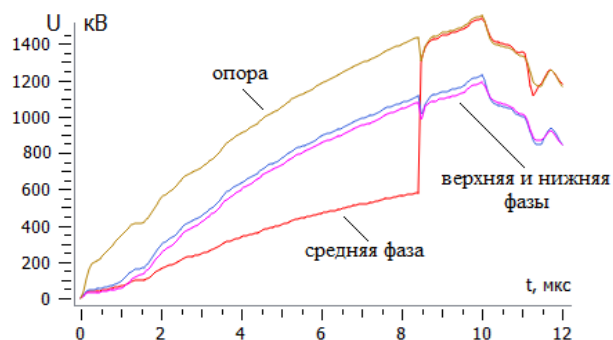


Рис. 4. Потенциалы проводов и центральной опоры при ударе молнии (ОПН в верхних и нижних фазах всех опор)

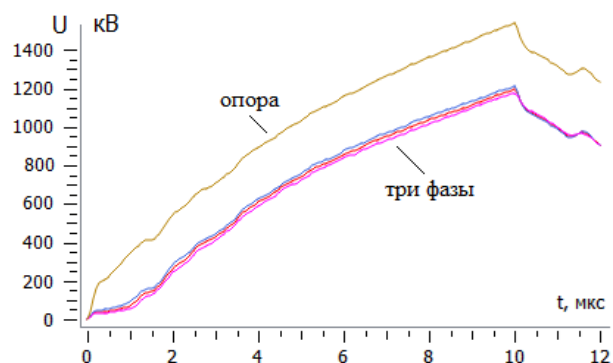


Рис. 5. Потенциалы проводов и центральной опоры при ударе молнии (ОПН во всех фазах всех опор)

При такой расстановке все три фазы не перекрываются. Этот способ защиты является универсальным для всех типов линий. Он исключает короткие замыкания, вызванные перекрытиями изоляций опор.

Выполним моделирование удара молнии в опору в схемотехнической программе АТР-ЕМТР (далее ЕМТР). Расчетная модель в этой программе представляет собой цепную схему (рис. 6).

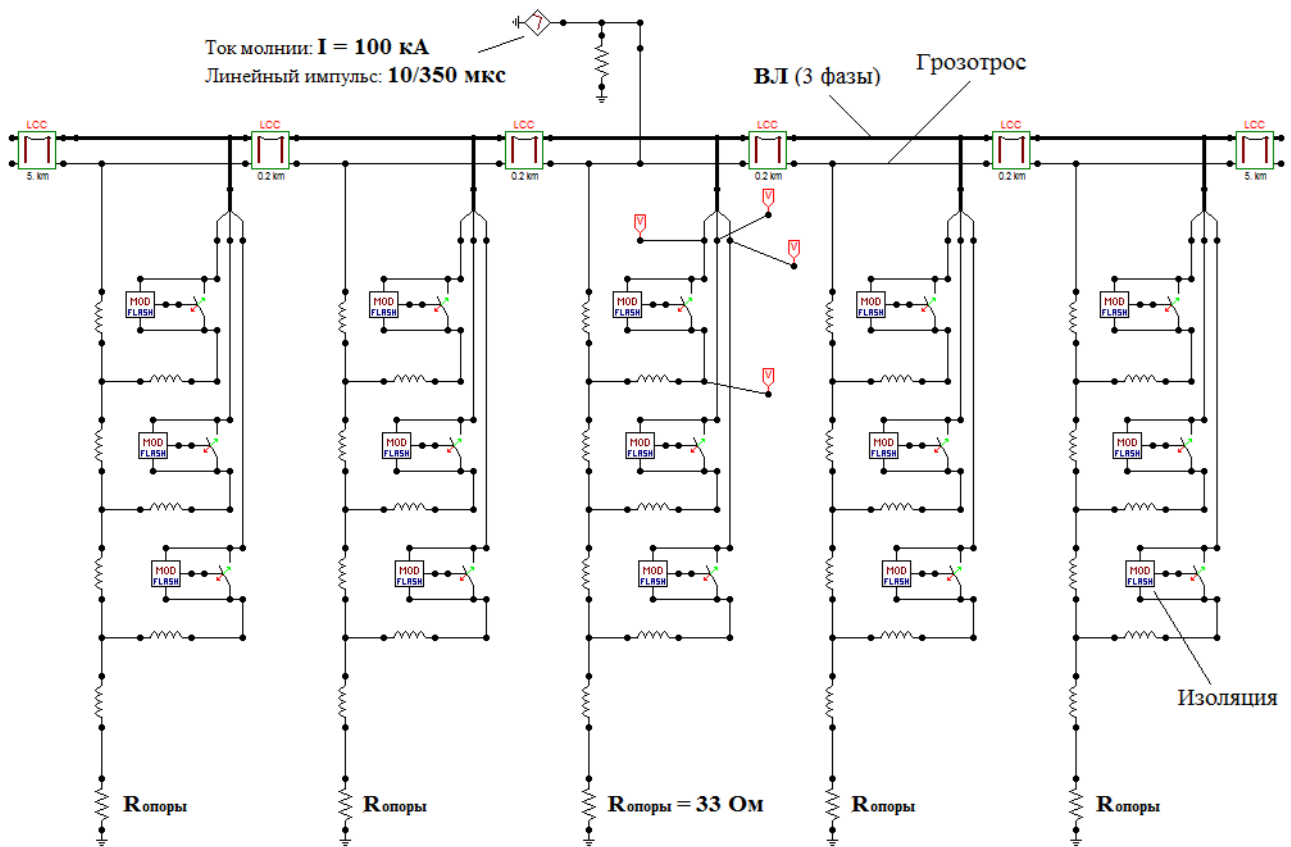


Рис. 6. Расчетная модель ВЛ 110 кВ в EMTP

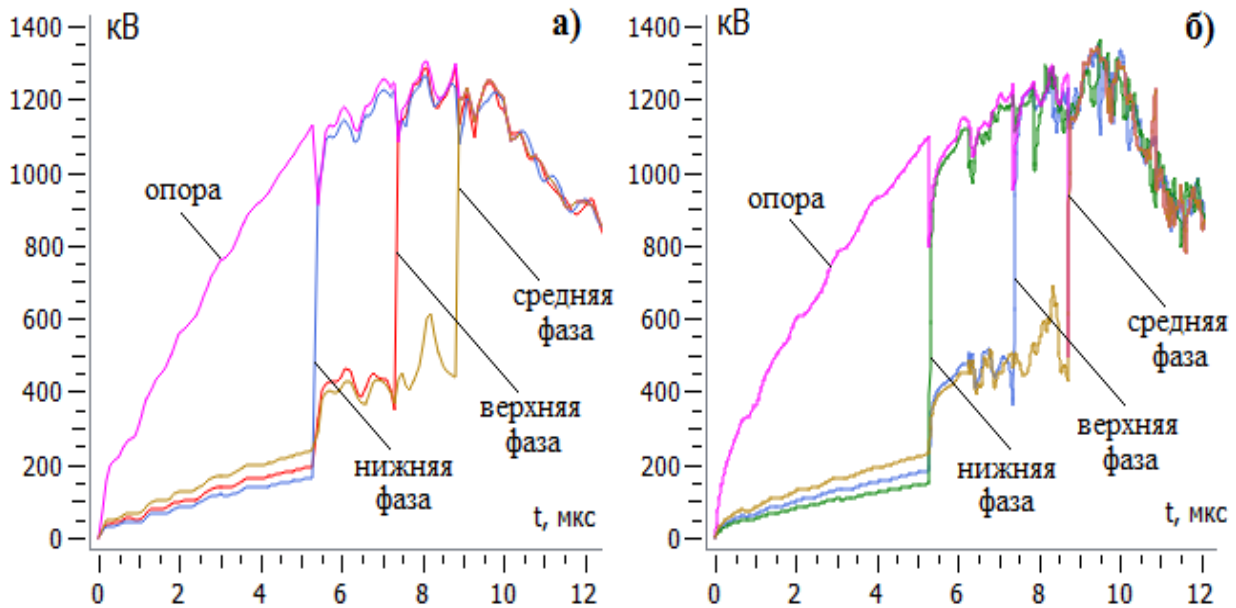


Рис. 7. Сравнение результатов моделирования ВЛ 110 кВ в двух ПО:
а) ЗУМ; б) EMTP

Все параметры данной схемы замещения должны быть заданы вручную, в отличие от программы ЗУМ, где собственные и взаимные сопротивления, индуктивности, емкости стержней считаются автоматически. Изоляция и ОПН моделируются аналогично программе ЗУМ. Пролеты моделируются «длинными линиями», опоры состоят из индуктив-

ностей примерно по 1 мкГн/м. Сопротивление заземлителя опоры 33 Ом было предварительно сосчитано в ЗУМ и введено в модель EMTP (в EMTP сопротивление заземлителя не сосчитать).

Расчеты по программам ЗУМ и EMTP полностью совпали (рис. 7), что говорит о достоверности результатов моделирования.

Таким образом, выполнено моделирование грозовых перенапряжений воздушных линий в программах ЗУМ и ЕМТР. В хорошо проводящем грунте ($\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) перекрытий изоляции опоры не происходит. Опасность представляют только плохо проводящие грунты ($\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Установка ОПН во все фазы всех опор полностью защищает воздушную линию от перенапряжений, но бывает экономически нецелесообразна. ОПН, установленные через одну опору во все фазы, не защищают соседние опоры. ОПН в верхних и нижних фазах всех опор позволяют существенно снизить количество перекрытий, поскольку средняя фаза перекрывается реже всего в линиях с молниезащитными тросами.

Литература

1. Шишигин, Д. С. Расчет заземления и молниезащиты в программе «ЗУМ»: учебное пособие / Д. С. Шишигин, С. Л. Шишигин. – Вологда : ВоГУ, 2018. – 79 с.
2. Шишигин, Д. С. К выбору технологии интеграции прикладного программного обеспечения с САПР / Д. С. Шишигин // Труды СПИИРАН. – 2016. – № 4 (47). – С. 211–224.
3. Дмитриев, М. В. Применение ОПН для защиты изоляции ВЛ 6-750 кВ / М. В. Дмитриев. – Санкт-Петербург : Издательство Политехнического университета, – 2009. – 92 с.

D.S. Shishigin
Vologda State University

MODELING OF TRANSMISSION LINES LIGHTNING OVERVOLTAGE

The simulation of lightning overvoltage of transmission lines when lightning strikes a transmission line tower is performed. The sequence of the phase insulation back flashover of the transmission line tower is analyzed. The options of the surge arresters placement on the overhead lines towers are investigated.

Transmission line, tower, lightning surges, modeling.



А.Н. Шпиганович, А.А. Шпиганович, А.В. Бойчевский
 Липецкий государственный технический университет

ОЦЕНКА БЕЗОТКАЗНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОТОКОВ

Предложен подход повышения эффективности функционирования систем электроснабжения за счет повышения отказоустойчивости, основанный на использовании теории случайных импульсных потоков. Оценено влияние случайных отказов и ремонтно-профилактического обслуживания электрооборудования систем электроснабжения на работу технологических машин.

Вероятность, математическое ожидание, частота, отказ, обслуживание, система, электроснабжение, рабочие машины, электрооборудование, коэффициент.

Безотказность системы электроснабжения в первую очередь обеспечивается ее отказоустойчивостью к любым негативным возмущающим факторам. Это могут быть как внешние, так и внутренние негативные воздействия. При правильном подборе электрооборудования, то есть с требуемой заводской надежностью для эксплуатации на рассматриваемом производстве, его отказоустойчивость в основном будет определяться не только уровнем обслуживания, но и качеством устранения отказов обслуживающим персоналом. Поэтому на промышленном предприятии для обеспечения высокой производительности ремонтно-профилактическое обслуживание должно находиться на самом высоком уровне. Это значит, что такие составляющие отказов, как обнаружение отказа, подготовка к его устранению, длительность устранения, опробование, включение в работу, должны занимать минимум времени. Оценка данного подхода предлагается определять теоретически на основе теории импульсных потоков.

При использовании для анализа рассматриваемой задачи теории импульсных потоков становится возможным связывать рабочие состояния электрооборудования с его отказами [1]. Связующим в данном случае является частота. Оценка параметров вероятности работы электрооборудования выполняется по использованию наработки на отказ [2]. Для электрооборудования функция распределения наработки подчиняется экспоненциальному закону. На ее вид распределения отказы электрооборудования практически не влияют. Вызвано это тем, что ее длительность составляет сотни, тысячи часов. Наработка длительности отказов не превышает часы. При выявлении параметров оборудования, связанных с отказами, следует учитывать вид функций распределения отказов. В зависимости от возникшего отказа, электрооборудования на котором он произошел, квалификации обслуживающего персонала длительность устранения отказа может быть самой разной [3], поэтому функция длительности устранения отказов мо-

жет отличаться от экспоненциальной. Как свидетельствуют результаты литературных источников, чаще это могут быть логарифмически-нормальный и усеченно-нормальный законы распределения [2, 4].

Решать рассматриваемую задачу будем следующим образом. Сначала представим выражения, связывающие параметры надежности относительно функции распределения наработки на отказ. Для упрощения расчетов оценим их с позиции коэффициента связи S . Аналогично для параметров надежности, полученных относительно распределения времени перерывов в электроснабжении технологических машин промышленного предприятия. Общие зависимости, характеризующие параметры надежности относительно вероятности работы будут определяться как:

$$P = \bar{\tau} \bar{\mu}; \quad \bar{P} = \bar{\theta} \bar{\mu}; \quad \bar{\tau} = \frac{P}{\bar{\mu}}; \quad \bar{\theta} = \frac{\bar{P}}{\bar{\mu}}; \quad \bar{\mu} = \frac{P \bar{P}}{\bar{\tau} \bar{\theta}}; \quad P + \bar{P} = 1. \quad (1)$$

Если частоту выразить через функцию распределения наработки на отказ и учесть сокращение длительности отказа на величину v , то будем иметь:

$$\bar{\mu}_v = \bar{\mu}_\pi - \bar{\mu}_\pi \int_0^v \alpha_\pi(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где $\bar{\mu}_\pi$ – математическое ожидание частоты отказов до внедрения мероприятий по сокращению длительностей отказов; $\alpha_\pi(\tau)$ – плотность распределения наработки на отказ до внедрения мероприятий по сокращению отказов.

Математическое ожидание длительности работы технологических машин за одно включение при внедрении мероприятий, воздействующих на отказы электрооборудования системы электроснабжения, равно

$$\bar{\tau}_v = \frac{\int_v^\infty (\tau_\pi - v) \alpha_\pi(\tau) d\tau}{1 - \int_0^v \alpha_\pi(\tau) d\tau}. \quad (3)$$

В данном случае значение коэффициента определяется зависимость

$$C = \int_0^{\bar{v}} \alpha_{\pi}(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Тогда выражения, отображающие работу технологических машин, с учетом мероприятий, повышающих их безотказность, будут иметь вид:

$$\bar{\mu}_v = \bar{\mu}_{\pi}(1-C); \quad (5)$$

$$\bar{\theta}_v = \frac{\bar{\theta}_{\pi} + \bar{v}}{1-C}; \quad (6)$$

Результаты, полученные по (1) и (2) позволяют определить все остальные параметры, характеризующие работу технологических машин. Для упрощения расчетов используем коэффициент связи С.

$$\bar{\tau}_v = \frac{1 - \bar{\mu}_v(\bar{\theta}_{\pi} + \bar{v})}{\bar{\mu}_v(1-C)}. \quad (7)$$

Хотя в основном функция распределения наработки на отказ систем электроснабжения промышленных предприятий подчиняется экспоненциальному закону, возможны случаи, когда она описывается распределением Вейбулла [5, 6]. В этом случае коэффициент связи предлагается устанавливать согласно данным приведенной таблицы 1.

Таблица 1

Значения коэффициента связи С при распределении Вейбулла

Отношение $T_n \bar{\tau}^{-1}$	Значение коэффициента С для параметров асимметрии распределения Вейбулла							
	1,40	1,20	0,95	0,85	0,75	0,65	0,50	0,45
0	1,00	0,50	0,30	0,20	0,10	0,07	0,05	0,03
1	1,00	0,80	0,60	0,35	0,20	0,10	0,07	0,05
2	1,00	0,95	0,80	0,55	0,35	0,20	0,09	0,06
3	1,00	1,00	0,90	0,70	0,53	0,30	0,13	0,07
4	1,00	1,00	0,95	0,78	0,57	0,35	0,15	0,09
5	1,00	1,00	0,97	0,82	0,63	0,40	0,18	0,10
6	1,00	1,00	0,99	0,90	0,68	0,42	0,20	0,12
7	1,00	1,00	1,00	0,94	0,74	0,44	0,22	0,14

Примечание. Значение T_n определяет межремонтные периоды в системе электроснабжения.

Таблица 2

Значения коэффициента связи С при логарифмически-нормальном распределении длительностей остановок рабочих машин

Отношение $v \bar{\tau}^{-1}$	Значение коэффициента С при логарифмически-нормальном распределении длительностей остановок рабочих машин							
	0,5	1,0	3,0	6,0	10,0	13,0	17,0	21,0
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,15	0,30	0,35	0,40	0,49	0,53	0,58	0,61
1,0	0,55	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62	0,62
1,5	0,85	0,83	0,80	0,78	0,62	0,62	0,62	0,62
2,0	0,95	0,90	0,87	0,83	0,80	0,77	0,75	0,74
2,5	1,00	0,97	0,95	0,92	0,87	0,85	0,83	0,81

Таблица 3

Значения коэффициента связи С при усеченно-нормальном распределении длительностей остановок рабочих машин

Отношение $v \bar{\tau}^{-1}$	Значение коэффициента С при усеченно-нормальном распределении длительностей остановок рабочих машин							
	0,5	1,0	3,0	6,0	10,0	13,0	17,0	21,0
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,33	0,40	0,50
1,0	0,30	0,37	0,45	0,47	0,50	0,55	0,55	0,55
1,5	0,80	0,75	0,70	0,75	0,80	0,75	0,73	0,68
2,0	0,87	0,86	0,85	0,86	0,87	0,77	0,75	0,70
2,5	0,93	0,92	0,90	0,91	0,92	0,84	0,82	0,80

Наименование вероятностных показателей и продолжительности ремонтно-профилактического обслуживания электрооборудования систем электроснабжения

Наименование и тип электрооборудования	Наработка на отказ, ч.	Время восстановления, ч.	Частота отказов, ч.	Длительность обслуживания, ч.
Подстанция трансформаторная ТКШВП-240/6	3820	6,4	2,61	1,0
Выключатели автоматические АВ-320ДО	6670	1,6	1,50	0,3
АВФ-1А	5900	1,8	1,69	0,3
Пускатель магнитный ПВИ-63	1860	1,3	5,37	0,3
Электрический двигатель	2300	3,1	4,34	0,2

Когда оценка осуществляется относительно функции распределения длительности простоев рабочих машин, то при их экспоненциальном распределении она ничем не отличается от оценки при экспоненциальном распределении наработки на отказ [7, 8]. Если распределение длительностей остановок машин подчиняется логарифмически-нормальному или усеченно-нормальному закону, то для определения C , предлагается в зависимости от отношения простоя к наработке, использовать данные таблицы 2 или 3 [9, 10].

Аналогичная таблица 3 составлена и для определения значения коэффициента связи C при усеченно-нормальном распределении длительностей остановок рабочих машин.

В качестве примера предложена работа двух машин. Схемы, обеспечивающие работу технологических машин, независимы друг от друга. Они оснащены электрооборудованием, наименование и тип оборудования приведены в таблице 4. Также в таблице 4 указаны вероятностные показатели электрооборудования и длительность ремонтно-профилактического обслуживания. Имеется в виду, что обслуживание оборудования систем выполняется один раз в три календарных месяца [12]. В процессе функционирования систем возможны два случая перехода систем на резерв [13].

При первом случае переход на резервное оборудование осуществляется, когда откажет оборудование, находящееся в эксплуатации. Для второго случая выполняется переключение оборудования по истечении определенного периода работы работающего электрооборудования. Если же отказывает основное оборудование, то осуществляется включение резервного. В рассматриваемом примере, ожидаемое время задержки включения составляло 30 мин. Вероятность находящихся в работе технологических машин равнялась $P=0,3$, а функция распределения наработки на отказ описывалась экспоненциальным законом. В рассматриваемой задаче требуется оценить влияние случайных отказов и ремонтно-профилактического обслуживания электрооборудования систем электроснабжения на работу технологических машин для первого и второго случаев переключения электрооборудования.

Согласно выполненным исследованиям получено, что для первого случая управления функционирования систем работа технологических машин выполняется с вероятностью безотказности 0,9999996. Для

второго случая вероятность безотказности машин составляет 0,9986916. Математические ожидания остановок соответственно равны 1,0 и 1,8 ч. Кроме этого, в первом случае длительности времени выполнения ремонтно-профилактического обслуживания электрооборудования не вызывают остановок рабочих машин. Во втором случае до 20 % перерывов в электроснабжении приходится на ремонтно-профилактическое обслуживание. Происходит это потому, что в первом случае включение резервной системы выполняется, когда отказывает система, находящаяся в работе. Для второго случая осуществляется независимый переход с работающей системы на неработающую. В первом случае электрооборудование резервной системы осуществляет прием нагрузки с вероятностью, соответствующей единице. При втором управлении вероятность работы электрооборудования резервной системы на момент включения единицы не равна.

Предлагаемый подход позволяет теоретически осуществлять оценку использования электрооборудования резервной системы при отказе оборудования работающей системы. Выбрать метод перехода, обеспечивающий наименьшее время вынужденного простоя технологических машин. Время на устранение отказов отдельных элементов системы электроснабжения промышленного предприятия при этом уменьшается, что позволяет устанавливать резервы, на повышение отказоустойчивости системы электроснабжения. В результате повышается ритмичность производства промышленного предприятия.

Литература

1. Определение безотказности обеспечения энергией приемников / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович, С. С. Астанин [и др.] // Вести высших учебных заведений Черноземья. – Липецк : ЛГТУ, 2019. – № 3. – С. 29–37.
2. Шпиганович, А. А. Современное состояние вопроса безотказности систем электроснабжения / А. А. Шпиганович. – Липецк : ЛГТУ, 2012. – 79 с.
3. Мамонтов, А. Н. Тепловизионный контроль трансформаторов тока и напряжения / А. В. Рычков, С. С. Астанин // Вести высших учебных заведений Черноземья. – Липецк: ЛГТУ, 2016 – № 4. – С. 9–18.
4. Жежеленко, И. В. Показатели качества электроэнергии на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко. – Москва : Энергия, 1977. – 128 с.

5. Жежеленко, И. В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко. – Москва : Энергоатомиздат. – 2005. – 261 с.
6. Akagi, H. New Trends in Active filters for Power Conditioning / H. Akagi // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1996. – № 6. – P. 1312–1322.
7. Yu-Long, C. Simulation and Reliability Analysis of Shunt Active Power Theory / C. Yu-Long, L. Hong, W. Jing-Gin // Journal of Zhejiang University Science. – 2007. – № 3. – P. 416–421.
8. Ajami, A. Implementation of a Novel Control Strategy for Shunt Active Filter / A. Ajami, S. H. Hosseini // ECTI Transactions on Electrical, Engineering, Electronics & Communications. – 2006. – № 1. – P. 40–46.
9. Erickson, R. W. Some Topologies of High Quality Rectifiers / R. W. Erickson // First International Conference on Energy, Power and Motion Control. – 1997. – P. 1–6.
10. Graovac, D. Universal Power Quality System – an Extension to Universal Power Quality Conditioner / D. Graovac, V. Katic, A. Rufer // 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control. – 2000. – № 4. – P. 32–38.
11. Шпиганович, А. Н. Оценка эффективности безотказности систем / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2013. – № 1. – С. 25–32.
12. Зацепина, В. И. Математическое описание функционирования элементов систем электроснабжения / В. И. Зацепина, А. А. Шпиганович // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – № 2. – С. 239–242.
13. Гамазин, С. И. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий / С. И. Гамазин, Б. И. Кудрин. – Москва : МЭИ. – 2010. – 745 с.

*A.N. Shpiganovich, A.A. Shpiganovich, A.V. Boychevskiy
Lipetsk State Technical University*

ESTIMATION OF POWER SUPPLY SYSTEM RELIABILITY BASED ON PULSE FLOWS THEORY

An approach to improve the efficiency of the functioning of power supply systems by increasing fault tolerance based on the use of the theory of random impulse flows is proposed. The influence of accidental failures and repair and preventive maintenance of electrical equipment of power supply systems on the operation of technological machines is estimated.

Probability, mathematical expectation, frequency, failure, maintenance, system, power supply, working machines, electrical equipment, coefficient.



ОСНОВНЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Одной из главных насущных проблем нашей страны является использование промышленных и коммунальных отходов, то есть максимальное использование вторичных ресурсов. Данная работа посвящена вопросам исследования технологий переработки и утилизации твердых коммунальных отходов, необходимых для уничтожения мусора. В работе представлены основные и перспективные методы утилизации отходов, а также показана зависимость содержания диоксинов в дымовых газах от выбранной технологии сжигания.

Твердые коммунальные отходы, технологии переработки отходов, диоксины, классы опасности отходов, термическое обезвреживание.

Главной задачей переработки промышленных и коммунальных отходов является оздоровление окружающей среды, резкое снижение ее загрязнения и мутации путем переработки любых отходов по безотходным экологически чистым технологиям с выпуском высокоценной продукции.

Призывы к борьбе с отходами практически ничего не дают: количество их, например, в нашей стране продолжает увеличиваться на 4 млрд т ежегодно, загрязнение окружающей среды резко возрастает, дефицит кислорода в атмосфере достиг 10 %, растут мутации и болезни человека. Так, в мире только в 2012 г. от загрязнения атмосферы погибло около 7 млн человек.

В настоящее время в нашей стране отходы составляют около 90 % от всех добываемых природных ресурсов, т.е. промышленность работает в основном на производство отходов. Накопилось уже 8 млрд м³ промышленных и коммунальных отходов. Полигоны заполнены в среднем по стране на 50–90 % [6].

Отходы производства и потребления – это остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, образовавшихся в процессе производства и потребления, продукция, которая абсолютно не утратила свои потребительские свойства [2].

Отходы могут быть самыми разными. Промышленные отходы (или отходы производства) – это остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшиеся при производстве продукции или выполнении работ и не утратившие свои потребительские свойства. Твердые коммунальные отходы – твердые вещества, не утилизируемые в быту, образующиеся в результате амортизации предметов быта в жизни людей. По фазовому составу отходы могут быть твердыми, жидкими и газообразными (рис. 1) [3].

Существует пять классов опасности: от чрезвычайно опасных (1 класс) до практически безопасных (5 класс) (табл. 1).

Таблица 1

**Классификация опасности отходов
по степени их вредного воздействия на окружающую среду**

Класс опасности отходов	Показатель степени опасности, K^*	Характер разрушения экосистемы**	Прогноз восстановления экосистемы
I класс – чрезвычайно опасные	$10^6 \geq K > 10^4$	Необратимо нарушена	В обозримом будущем не рассматривается
II класс – высокоопасные	$10^4 \geq K \geq 10^3$	Сильно нарушена	Период восстановления более 30 лет после устранения источника вредного воздействия
III класс – умеренно опасные	$10^3 \geq K \geq 10^2$	Умеренно нарушена	Не менее 10 лет снижения степени вредного воздействия
IV класс – малоопасные	$10^2 \geq K \geq 10$	Умеренно нарушена	Период восстановления не менее 3 лет
V класс – практически не опасные	$K \leq 10^4$	Практически не нарушена	Оперативное восстановление

* $K_i = C_i / W_i$, где K_i – показатель степени опасности компонента; C_i – концентрация отдельного компонента; W_i – коэффициент опасности отдельного компонента; $K = K_1 + K_2 + K_n$.

** Экосистема – это общность компонентов неживой и живой природы в определенном пространстве, все части которой взаимодействуют друг с другом, используя поток энергии и создавая круговорот веществ [3].



Рис. 1. Общая классификация отходов

Особую опасность представляют диоксинсодержащие отходы, образующиеся при сжигании промышленного и коммунального мусора, бензина, пестицидов. Диоксины очень канцерогенны, мутагенны и эмбрионально токсичны.

Ежегодный объем образования твердых промышленных отходов (ТПО) и твердых коммунальных отходов (ТКО) в мире превышает 2,1 млрд т, то есть на каждого жителя нашей планеты приходится 1,2–2,6 т ТПО и 0,35–0,75 т ТКО [4]. В нашей стране под отходы занято более 0,25 млн га, в том числе около 0,15 млн га под ТКО.

Твердых коммунальных отходов в нашей стране образуется ежегодно около 56 млн т, площадь оборудованных полигонов составляет около 3 млн га, несанкционированных свалок – более 9 млн га. В атмосферу выбрасывается 19–20 млн т загрязняющих веществ, из которых 15–16 млн т попадают в воздух без предварительной очистки. В водоемы поступает 55–60 км³ сточных вод, из которых 37 % – загрязненных, 60 % – нормативно чистых и только 3 % – нормативно очищенных сточных вод.

На территории России накоплено около 80 млрд т ТКО и ежегодно образуется около 35 млн т таких отходов, занимаемая ими площадь – около 9 млн га.

Вещественный состав ТКО в среднем следующий: макулатура – 20–40 %, пищевые отходы – 25–40 %, стекло – 4–6 %, пластмасса – 1–5 %, черные и цветные металлы – 2–3 % и др.

Наибольшее распространение в России и за рубежом получили следующие технологии обезвреживания и утилизации коммунальных отходов:

- складирование (ликвидация биологическая);
- сжигание (ликвидация термическая);
- компостирование (утилизация биологическая).

Складирование ТКО на полигонах

В России уже скопилось свыше 8 млрд м³ коммунальных и промышленных отходов. Полигоны заполнены в среднем по стране на 50–90 %.

Полигоны ТКО являются специальными сооружениями, предназначенными для изоляции и обезвреживания ТКО, и должны гарантировать санитарно-эпидемиологическую безопасность населения.

Для создания полигонов, предназначенных для складирования ТКО, отводят ровный участок земли, расположенный на водоупорных грунтах с уровнем грунтовых вод ниже 3 м от поверхности площадки.

Термические технологии обезвреживания и переработки ТКО

Термические методы утилизации ТКО являются одним из объемных методов переработки. Преимущество метода состоит в значительном уменьшении объема обрабатываемого материала. При сжигании отходов их масса уменьшается на 85–90 %. Образующиеся в процессе горения зола и шлак удаляют на полигоны. Газы, которые образовались в процессе термической переработки, проходят очистку и удаляются в атмосферу.

Сжигание применяют при переработке ТКО на мусоросжигательных заводах. В России часть мусоросжигательных заводов, закупленных за рубежом, не работают, так как они не приспособлены к комбинированным коммунальным отходам, которые преобладают в нашей стране.

На рисунке 2 приведена схема сжигания ТКО мусороперерабатывающего завода.

При сжигании мусора с самым различным сочетанием компонентов образуется огромное количество вредных продуктов, содержащих такие опасные ве-

щества, как диоксины, фосген, синильная кислота и др., а также зола и шлаки неизвестного состава и с непредсказуемыми свойствами. Особенно велика при сжигании диоксиновая опасность [2].

Диоксины – общепринятое название группы органических веществ, которые относятся к классу полихлорированных полициклических соединений. Под этим названием объединено более 200 веществ.

В работе К.В. Ладыгина приведена таблица (табл. 2), показывающая зависимость содержания диоксинов от метода сжигания [5].

Таблица 2

Зависимость содержания диоксинов от метода сжигания

Метод сжигания	Концентрация диоксинов в воздухе, нг/м ³	Производительность установки, кг отходов/ч	Максимальная концентрация диоксинов в воздухе, пг/м ³
Однокамерная печь без камеры дожигания	952,87	100	57
Двухкамерная печь с камерой дожигания (1 с)	565,26	100	35
Вращающаяся печь, 700 °С (1 с)	161,5	500	10,87
Вращающаяся печь, 700 °С (3 с)	20,9	500	1,42
Двухкамерная печь с сухим скруббером (2 с)	12,43	100	0,77
Двухкамерная печь с влажным скруббером (2 с)	2,1	100	0,13
Двухкамерная печь с сухим скруббером и автоматическим управлением (2 с)	0,32	100	0,02
Высокотехнологическая печь (2 с) с высокой турбулентностью, 850/1000 °С, с контролем загрязнения	0,16	100	0,01
Высокотехнологичное сжигание опасных отходов с контролем загрязнения и показывающее соответствие предельным значениям	0,12	100	0,0074

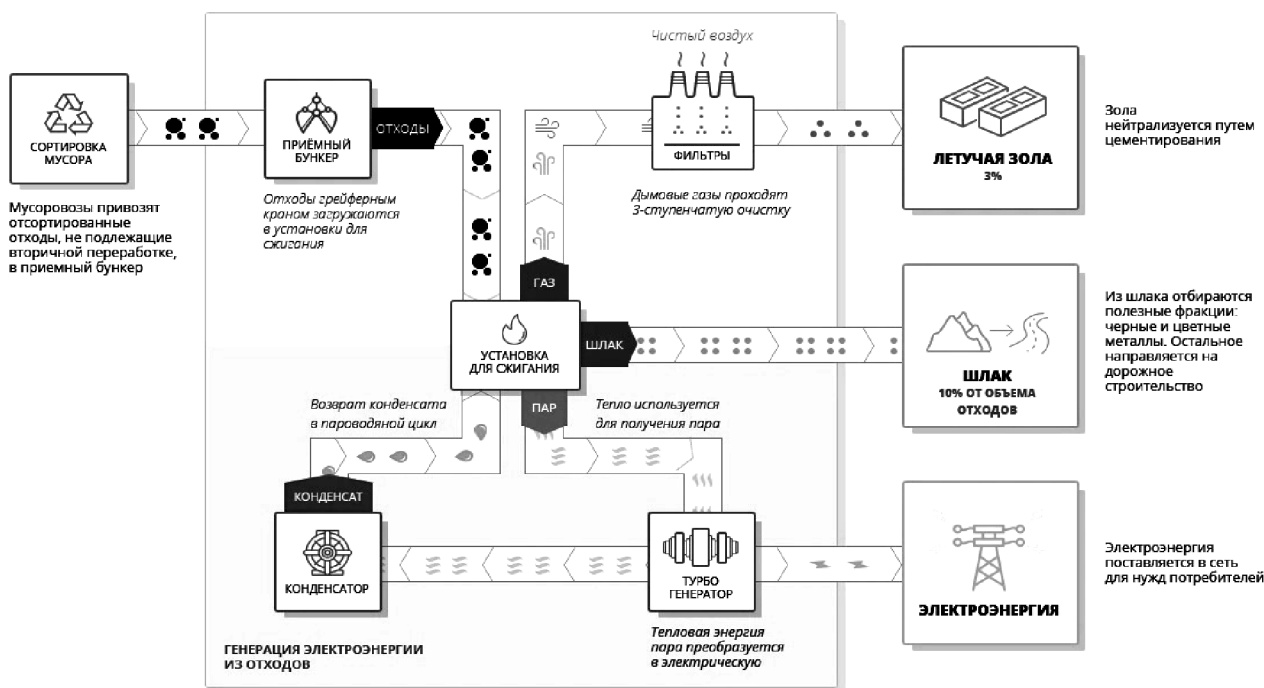


Рис. 2. Схема сжигания ТКО

Годовое количество выбросов диоксинов выражается формулой:

$$M_d = (K_{за} + K_{ост}) \cdot G_{от} \text{ [мкг I-TEQ/год]}$$

где $K_{за}$, $K_{ост}$ – коэффициенты эмиссии выбросов диоксинов в атмосферу и в остатках, принимаются в зависимости от типа, состава и режима работы установки огневого обезвреживания МО, мкг I-TEQ/т; $G_{от}$ – годовое количество обезвреживаемых отходов, т/год; I-TEQ – Международный эквивалент токсичности диоксинов.

Содержание диоксинов в отходящих газах:

$$X_g = K_{за} \cdot 103 / V_g \text{ [нг/м}^3\text{]}$$

где V_g – количество отходящих газов, образующееся при огневом обезвреживании 1 т отходов, м³/т.

Расчеты выполнены для годового расхода обезвреживаемых отходов – 600 т/год, часовых производительностей установок по сжиганию отходов – 100 кг/ч и 500 кг/ч. Удельное содержание диоксинов в отходящих газах (X^t) и их максимальная концентрация в атмосферном воздухе (C^m) рассчитывались на основе вышеприведенного элементного состава отходов, методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД 86) для высоты дымовой трубы 20 м и содержания кислорода в отходящих газах, равном 11 % [5].

Таким образом, первая ступень очистки дыма находится в котле. Дымовые газы более 2 секунд выдерживаются при температуре свыше 850 °С, что обеспечивает разложение диоксинов. Также в котле происходит нейтрализация оксидов азота.

Вторая ступень – очистка в реакторе от органических веществ, тяжелых металлов и кислотных составляющих с помощью активированного угля и гашеной извести. На этой стадии разрушаются вторичные диоксины, которые образуются при охлаждении дымовых газов на выходе из котла. Третья ступень – очистка дымовых газов в рукавном фильтре от золы, пыли и продуктов газоочистки.

Получаемый в котле пар направляется в турбогенератор для производства электроэнергии, которая поставляется в сеть. На собственные нужды завода расходуется 5–10 % производимой энергии.

После турбины пар по трубам направляется в конденсатор, где преобразуется обратно в воду и возвращается в котел, таким образом продолжая работать в замкнутом цикле.

Шлак, который образуется в котле, составляет 30 % от массы и 10 % от входящего объема отходов и имеет такой же класс опасности, как и несортированные отходы. Шлак направляется на охлаждение, а затем выгружается на ленточный транспортер. По ходу движения из шлака отбираются черные и цветные металлы, которые впоследствии направляются на переработку.

Летучая зола, оседающая на фильтрах, составляет 3 % от перерабатываемых отходов и обладает более высоким классом опасности. Зола нейтрализуется путем цементирования.

Компостирование с получением ценных азотосодержащих удобрений, биотоплива и биогаза

Компостирование – это технология переработки отходов, основанная на их естественном биоразложении. Наиболее широко компостирование применяется для переработки отходов органического, а также растительного происхождения, таких как листья, ветки, скошенная трава и др. Существуют технологии компостирования пищевых отходов и отходов сельского хозяйства.

К перспективным технологиям переработки отходов относятся, например, следующие: графеновые, нанотехнологии, композиционные, резонансные, трансмутантные, биобактериальные, синергетические, электромагнитные, термохимические, конвергентные и множество других технологий, частично приведенных в работе [1], но недостаточно используемых в области переработки отходов. Ниже приведены некоторые из этих технологий.

Графеновые технологии. Графен – это чешуйки графита толщиной в один атом, состоящие из конденсированных шестичленных колец. Исходное сырье – отходы от обогащения графита, отходы графитизации, графитовая спель, отходы при получении искусственного графита и др.

После обогащения сырья графен получают, используя многие технологии, приведенные в работе [1]. Наиболее простыми из них являются:

- механическое отшелушивание слоев графита по технологии К.С. Новоселова (технология скотча): кусочки графена получают при механическом воздействии на высокоориентированный пиролитический графит. Сначала плоские куски графита помещают между липкими лентами (скотч) и поэтапно отщепляют, создавая достаточно тонкие слои (среди многих пленок могут попадаться однослойные и двухслойные, которые и представляют интерес). После отшелушивания скотч с тонкими пленками графита прижимают к подложке окисленного кремния;

- послойно расщепляют графит в жидкостях (технология диспергирования) под воздействием ультразвука или электрохимически в ионных жидкостях;

- метод обработки графита сильными кислотами и окислителями.

Графен обладает свойствами, которые определяют его широкие области применения и большое будущее. Так, он отличается высокой прочностью – в 200 раз прочнее стали, теплопроводность графена в 36,5 раза выше Si, электропроводность на два порядка больше Si, он является высокорективным материалом и др.

Области применения графена очень широкие: углеродная электроника, графеновые электроды; сверхскоростные компьютеры; полевые транзисторы; сверхпроводники, выделяющие при этом очень мало тепла; сенсоры; гибкие ЖК-дисплеи экранов; суперконденсаторы; мембраны с регулируемой проницаемостью; прозрачные электроды; магнитометры и многие другие области эффективного применения графена.

Нанотехнологии. Это технологии, в которых используют наночастицы. Размер наночастиц – от 1 мкм до 1 нм.

Сырьем для нанотехнологий являются различные пылевые отходы от улавливания пыли в электрофильтрах и циклонах.

Количество пылевых отходов огромно на самых различных производствах: в производстве металлов, цемента, строительных материалов, химических веществ, пластмасс, в машиностроении и пр.

Готовые наночастицы обладают многими уникальными свойствами, главное из которых – они чрезвычайно высокоактивны вследствие высокой удельной поверхности и ее деформационной структуры. Поэтому наночастицы очень химически активны, быстро слипаются друг с другом, образуя агрегаты – нанокластеры, которые при помолке совместно с другими материалами или смешении разваливаются. Кроме того, наночастицы обладают высокой адгезионной способностью – быстро прилипают к любой поверхности, зернам материалов, обуславливая изменение их свойств. Наночастицы увеличивают пластичность масс и снижают температуру спекания изделий. Поэтому все технологические операции с наночастицами (транспортировка, дозировка, смешение, формование) должны обязательно производиться на герметически закрытом оборудовании с отрицательным давлением.

Композиционные технологии. Это гармоничное объединение двух и более разнородных и взаимосвязанных отходов, обуславливающих в итоге получение более высоких свойств, чем исходные отходы [1].

Исходное сырье – все промышленные и коммунальные отходы. Сущность композиционных технологий заключается в гармоничном объединении различных отходов, где один отход помогает другому получить положительное качество продукции.

Резонансные технологии. Это совмещение собственных частот колебаний частей элементов или систем с прилагаемой внешней частотой колебаний. При этом амплитуда колебаний элементов резко возрастает и материал разваливается – диспергируется на отдельные части.

Исходное сырье – твердые и жидкие промышленные отходы. По резонансной технологии твердые отходы разваливаются, а из жидких отдельные вещества выпадают в осадок.

Синергетические технологии (самоформирующиеся). Это наибольшее использование свойств самих веществ (компонентов) для формирования необходимых свойств материалов и изделий под воздействием электромагнитной энергии. В основе синергетики лежит механизм самоорганизации систем с постоянным обменом своим содержанием с окружающей средой [1].

Сырьем для синергетических технологий являются любые отходы. Начинать разработку синергетических технологий необходимо с их компьютерного, физико-химического моделирования и расчетов с использованием методов и технологий искусственного интеллекта.

В настоящее время в России на одного жителя города приходится примерно по 1 т твердых отходов в год, причем эта цифра постоянно увеличивается. Кроме того, общее количество отходов в нашей стране ежегодно возрастает на 4 млрд т, что может привести в ближайшем будущем к глобальному экологическому кризису: загрязнению атмосферы, гидросферы и литосферы отходами, особенно вредными радиоактивными отходами.

Фактически промышленные отходы и отходы коммунального хозяйства являются ценнейшим вторсырьем, где отходы одного производства и предприятия являются важнейшим сырьем для другого производства и предприятия.

Поэтому ни в коем случае нельзя заниматься ликвидацией отходов, а необходимо максимально эффективно использовать их для производства высококачественной продукции по безотходным, экологически чистым технологиям с достижением наибольшей степени ее полезности у потребителей. Необходимо полностью перерабатывать отходы и лишь в крайних случаях сжигать.

Переработка промышленных и коммунальных отходов является высокоприбыльной областью производства, в том числе и за счет перехода на безналоговое производство и потребление продукции из отходов.

Литература

1. Хорошавин, Л. Б. Диалектическое развитие технологических науки технологий / Л. Б. Хорошавин. – 2-е изд. – Екатеринбург : ООО УИПЦ, 2014. – 457 с.
2. Основы инженерной экологии / В. В. Денисов, И. А. Денисова, В. В. Гутенев, Л. Н. Фесенко. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2013. – 623 с.
3. Экология. Основы геоэкологии // А. Г. Милютин, Н. К. Андросова, И. С. Калинин, А. К. Порцевский. – Москва : Юрайт, 2013. – 542 с.
4. Экология : учебник // В. Н. Большаков, В. В. Качак, В. Г. Коберниченко [и др.]. – Москва : Логос, 2010. – 504 с.
5. Ладыгин, К. В. К вопросу предварительной оценки и методов снижения содержания диоксинов в отходящих газах установок тремоокислительного обезвреживания медицинских отходов / К. В. Ладыгин, Н. Д. Осветицкая, Ю. А. Рахманов. – Текст : электронный // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. – 2014. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-predvaritelnoy-otsenki-i-metodov-snizheniya-soderzhaniya-dioksinov-v-othodyaschih-gazah-ustanovok-termookislitel'nogo/viewer> (дата обращения: 06.04.2022).
6. Хорошавин, Л. Б. Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов: учебное пособие / Л. Б. Хорошавин, В. А. Беляков, Е. А. Свалов. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2016. – 219 с.

N.A. Bormosov, M.M. Lukinov
Vologda State University

BASIC AND PROMISING TECHNOLOGIES OF SOLID HOUSEHOLD WASTE PROCESSING

One of the main pressing issues of our country is the use of industrial and household wastes, i.e. the maximum use of secondary resources. This research is devoted to the study of technologies for the processing and disposal of household solid waste necessary for the destruction of garbage. The paper presents the main and promising methods of waste disposal and shows the dependence of the content of dioxins in flue gases on the selected combustion technology.

Household solid waste, waste processing technologies, dioxins, waste hazard classes, thermal neutralization.



ИЗМЕНЕНИЕ АВАРИЙНОСТИ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ УЛИЦ КОНЕВА И МОЖАЙСКОГО В Г. ВОЛОГДЕ ПОСЛЕ ОРГАНИЗАЦИИ КОЛЬЦЕВОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ

В данной статье представлен сравнительный анализ изменения аварийности на перекрестке после организации кругового пересечения при тех же транспортных потоках. Исследованы преобладающие типы ДТП до и после организации кругового движения по «учетным» ДТП с погибшими и ранеными и с «неучетными» ДТП с материальным ущербом.

Аварийность кольцевого пересечения.

Одним из способов сокращения аварийности считается [1] ограничение скорости движения транспортных средств посредством установки ограничения соответствующими знаками и средств контроля, создания искусственных неровностей или искривления траектории движения автомобилей. Искривление траекторий движения, таким образом, может считаться одним из способов одного из видов сокращения аварийности.

В августе 2020 года в г. Вологде на перекрестке улиц Конева и Можайского (рис. 1) для сокращения аварийности было организовано кольцевое движение. Изучению изменения аварийности на перекрестке после реализации мероприятия посвящена данная работа.

Согласно данным городской администрации, «регулируемый перекресток Конева – Можайского входит в число 25 точек концентрации ДТП на улично-дорожной сети Вологды. По данным городского ГИБДД, в 2019 году здесь произошло около 20 ДТП с

материальным ущербом, еще столько же – с начала 2020 года» [2]. За 1 месяц работы к 15.09.2020 на этом участке кольцевого перекрестка произошло уже 23 ДТП [3].

«Входит в число 25 точек концентрации ДТП», т.е. занимает место с 20 по 25. Сейчас, после организации кольцевого движения перекресток уверенно занимает звание «самого аварийного перекрестка города» [4]. Показатели аварийности, взятые по данным [4] на 13.02.2022, представлены на рисунке 2.

На 13.02.2022 количество зафиксированных онлайн-сервисом ДТП за предыдущий год составило 156. На 31.05.2021 количество ДТП за предыдущий год составляло 213 (при 6 пострадавших), что практически в 2 раза больше, чем на занимавшем 2 место в рейтинге перекрестке.

Общее количество ДТП на перекрестке с 01.01.2016 по официальным данным ГИБДД представлено на рисунке 3.



Рис. 1. Кольцевое пересечение на перекрестке

Место	Адрес	ДТП за год	Пострадавших
1	Конева - Можайского (Кольцо)	156	2
2	Площадь Бабушкина	102	7
3	Пошехонское шоссе - Петина	97	7
4	Пошехонское шоссе - Ярославская	92	2
5	Окружное шоссе - Панкратова (Кольцо)	84	0
6	Ленинградская - Петина	74	1
7	Ленинградская - Ярославская	72	2
8	Ленинградская - Гончарная	68	1
9	Северная - Карла Маркса (Кольцо)	68	1
10	Прокатова - Горького	61	1
11	Ленинградский Мост	61	2
12	Окружное шоссе - Гагарина	57	0
13	Чернышевского - Старое шоссе	56	6
14	Ленинградская - Кирова	54	0
15	Предтеченская - Зосимовская	51	1
16	Ленинградская - Псковская	48	2
17	Конева - Воркутинская	46	3
18	Пошехонское шоссе - Можайского	46	1
19	Мира - Предтеченская	42	2
20	Мира - Герцена	40	5
21	Ленинградская - Новгородская	38	3
22	Мост 800-летия	36	2
23	Конева - Архангельская	33	3
24	Предтеченская - Козленская	33	3
25	Ленинградская - Окружное шоссе	33	0
26	Герцена - Левичева	33	1
27	Герцена - Предтеченская	33	1

Рис. 2. Рейтинг аварийности перекрестков в г. Вологде на 13.02.2022 [4]

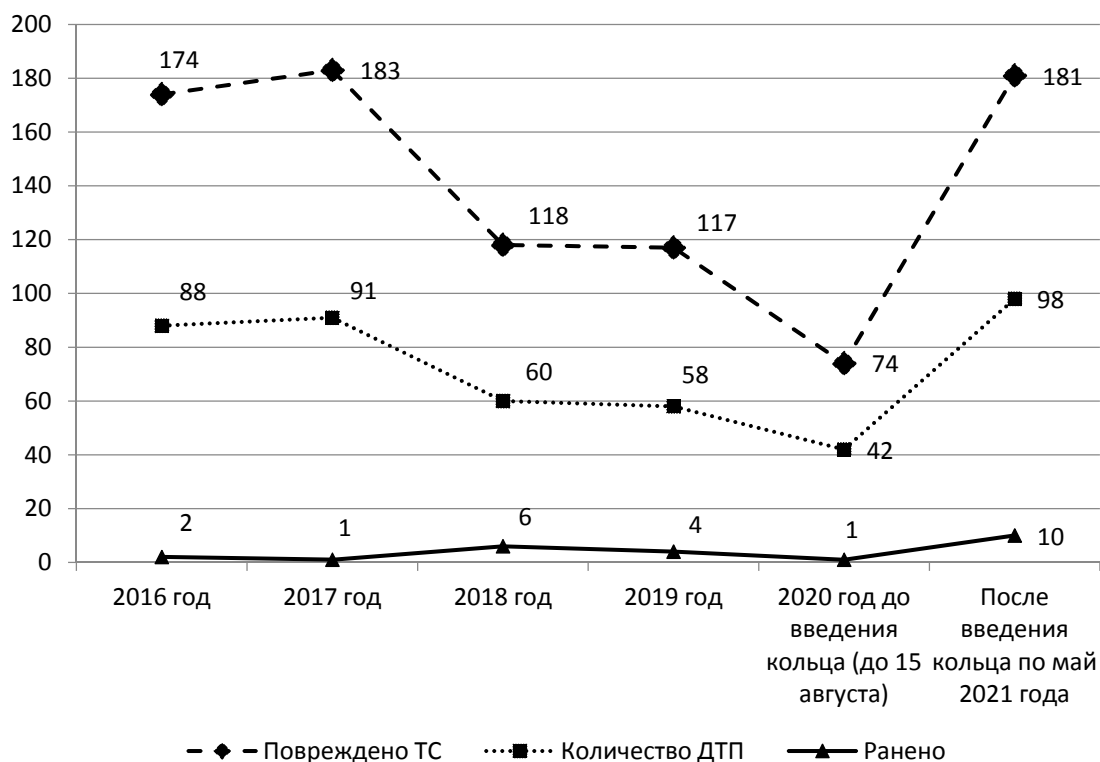


Рис. 3. Сводка ДТП по данным ГИБДД

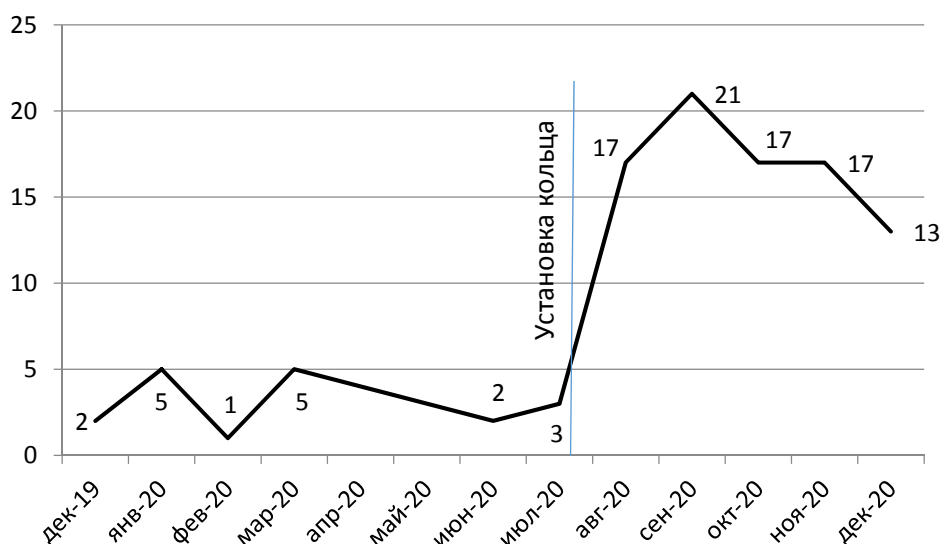


Рис. 4. Изменение количества ДТП на перекрестке ул. Конева – Можайского на 01.01.2021

За 9,5 месяцев число учтенных в ГИБДД ДТП по данному перекрестку превысило значения самых аварийных 2016 и 2017 годов. Количество раненых на перекрестке подскочило с 2,8 за год до 10 за 9,5 месяцев, что составляет 320 %.

При сборе данных аварийности в ГИБДД следует уточнить, что согласно внутреннему порядку учета, каждое ДТП «привязывается» к определенному адресу (дому). При этом созданные нерегулируемые пешеходные переходы (на которых в основном и происходят ДТП) относятся к «другим адресам» и не попадают в официальную статистику ГИБДД по данному перекрестку. С точки зрения изучения причинно-следственных связей вновь созданные нерегулируемые пешеходные переходы являются частью реализованных мероприятий по организации кругового движения на перекрестке и учтены в наших данных.

Вызывает существенный интерес изучение данных аварийности на перекрестке альтернативного источника [4]. Сервис выкладывает на своем сайте фактически произошедшие ДТП. Сравнение данных ГИБДД и онлайн-сервиса представлено в таблице 1.

Таблица 1
Аварийность на перекрестке улиц Конева и Можайского с 15.08.2020 по 31.05.2021 по данным ГИБДД и онлайн сервиса [3]

Источник информации	Количество зафиксированных ДТП, шт.
ГИБДД	98
Baza.net	195

В данных онлайн-сервиса зафиксированы попавшие в поле зрения работников сервиса (не все) столкновения автомобилей и наезды на пешеходов. В статистику ГИБДД попадают только те ДТП, по которым имеются обращения граждан. В значительной степени из-за оформления ряда ДТП по «европротоколу» без участия ГИБДД и, видимо, ряду ДТП, при которых участники «договариваются на месте», офи-

циальные данные ГИБДД отличаются от фактических почти в 2 раза. Это при том, что онлайн-сервис, возможно, учел не все ДТП.

На рисунке 4 наглядно виден всплеск аварийности на перекрестке после организации кругового движения по более полным данным онлайн сервиса.

Даже через 1,5 года после организации кольцевого пересечения и «привыкания» водителей к новой схеме, всплеск аварийности откорректировался и все равно значительно выше, чем был при светофорном регулировании.

Анализ причин ДТП после организации кольцевого движения представлен на рисунке 5.

Основной вид ДТП на перекрестке (60 %) – выезд с перекрестка с внутренней полосы. Из-за малого размера кольца, вписанного в существующие размеры дороги, многие автомобилисты не успевают (не имеют возможности) своевременно перестроиться в крайний правый ряд для выезда с кольца. Интенсивный поток на кольце зачастую просто не позволяет этого сделать технически. В направлении тоннеля из кольца выезжает 2069 автомобилей в час. В одну полосу выезд такого числа автомобилей технически невозможен. Если все автомобили с соблюдением ПДД начнут перестраиваться в 1 полосу на кольце – скорость движения сократится до критических значений и пропускная способность полосы сократится.

В январе 2022 начался ремонт моста через реку Шограш перед тоннелем. По организованной схеме выезд с кольца организован в 1 полосу. Пропускная способность существенно сократилась, заторы увеличились и произошло перераспределение автомобилей по альтернативным магистралям. В соответствии с правилами дорожного движения – так должно быть всегда.

Анализ видов ДТП показывает, что 12 % аварий «заезд с 3 полос» можно сократить организацией направляющих (было выполнено 10.12.2020). Остальные ДТП можно сократить, только существенно меняя схему движения.

На рисунках 6 и 7 представлены причины ДТП с ранеными до и после организации кольцевого пересечения.

Из рисунка 6 видно, что основным ДТП с ранеными при светофорном регулировании был левый

поворот с улицы Можайского от Пошехонского шоссе в тоннель. За 4,7 года доля таких ДТП составила 42 %. Остальные ДТП носят единичный характер и за почти 5 лет никогда не повторялись.

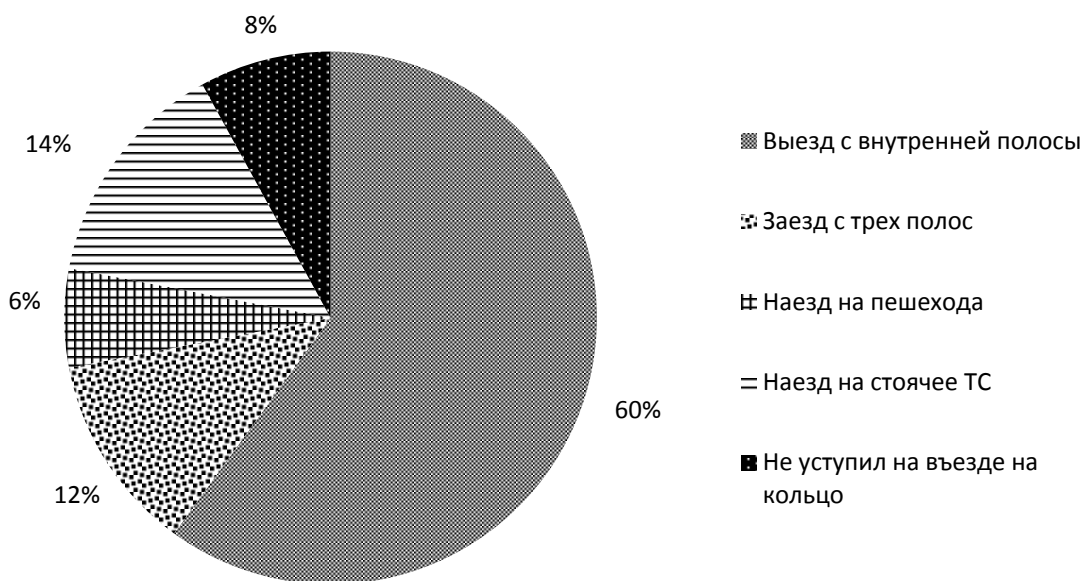


Рис. 5. Анализ видов ДТП на перекрестке ул. Конева – Можайского

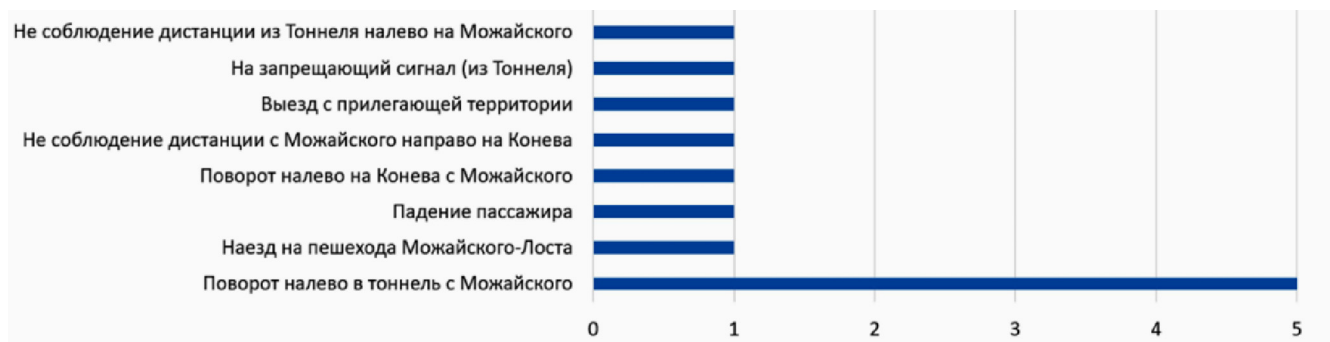


Рис. 6. Количество и типы ДТП до введения кольцевого пересечения с 01.01.2016 по 15.08.2020



Рис. 7. Количество и типы ДТП после введения кольцевого пересечения с 15.08.2020 по 01.06.2021

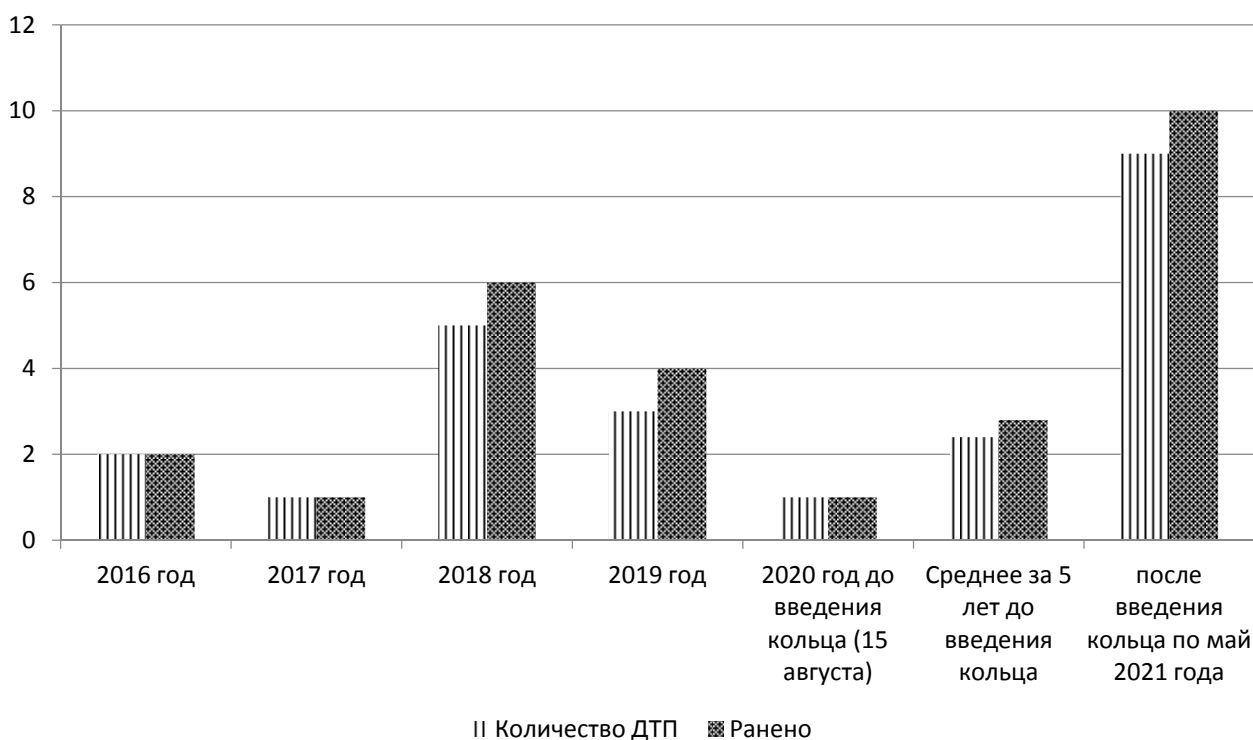


Рис. 8. Сводка ДТП с ранеными

Сократить аварийность с ранеными на перекрестке (до 1,49 в год) в рамках светофорного регулирования можно было разведя фазы движения автомобилей по улице Можайского, переведя конфликтные точки в разные фазы работы светофора. Дополнительно это позволило бы повысить пропускную способность направления Можайского от Пошехонского шоссе.

Из рисунка 7 видно, что 89 % ДТП на перекрестке после организации кольцевого движения – это наезд на пешехода на возникших нерегулируемых пешеходных переходах. Сократить число этих ДТП можно установкой искусственных неровностей или регулируемого светофора (что и было сделано после 10 раненых).

На рисунке 8 представлена сводка по ДТП с ранеными на перекрестке до и после организации кольцевого пересечения.

Аварийность с ранеными подскочила после введения кольцевого пересечения с 2,4 в год до 9 за 9,5 месяцев (раненых с 2,8 до 10).

В ходе работы было установлено, что:

1. После широкого внедрения европротоколов при оформлении ДТП данные ГИБДД не являются полными. По результатам обследуемого перекрестка полнота данных ГИБДД – менее 50 %.

2. В целом аварийность после введения кольцевого движения на перекрестке стала значительно хуже. Число ДТП с материальным ущербом сразу после реализации мероприятия выросло в 5–7 раз, через год – до 3–4 раз по сравнению со светофорным регулированием. Число «учетных» ДТП с ранеными с увеличилось на 320 %.

3. После установки искусственных неровностей и светофорного регулирования на вновь созданных пешеходных переходах аварийность с ранеными сокра-

тилась до уровня, который был при светофорном регулировании.

4. Организуя круговое движение, необходимо заранее предусматривать мероприятия по снижению аварийности пешеходов.

5. На схожем кольцевом перекрестке улиц Карла Маркса и Северной по сравнению с кольцом на ул. Конева-Можайского количество ДТП с материальным ущербом за 2021 год меньше на 56 %, количество раненых меньше в 2 раза. Главное отличие кольцевых перекрестков – в транспортных потоках, проходящих через пересечение. Перекресток Конева – Можайского находится на границе района перед тоннелем через железную дорогу и связывает несколько крупных районов города с центральной частью. Транспортный поток составляет до 4000 автомобилей в час. Данные о транспортных потоках перекрестка Северная – К. Маркса отсутствуют [5], но очевидно, что перекресток находится в глубине транспортного района и транспортный поток через него меньше. Детальный анализ причин разницы аварийности требует дальнейшего исследования.

6. Концепция БДД «VISION ZERO» предполагает организацию движения таким образом, чтобы участники дорожного движения, даже совершая ошибки, не попадали в ДТП. В настоящее время въезд на кольцо в час пик при интенсивных транспортных потоках до 1,8 секунды на автомобиль создает значительный стресс для водителей, вынужденных искать окно в транспортном потоке, и не способствует сокращению аварийности. Проезд этого перекрестка при светофорном регулировании – был менее стрессоформирующий и более безопасный и предсказуемый для водителей.

Литература

1. Управление скоростью: Руководство по безопасности дорожного движения для руководителей и специалистов / Глобальное партнерство дорожной безопасности. – Женева : Всемирная организация здравоохранения, 2008. – 164 с.

2. Кольцевое движение будет организовано на перекрестке улиц Конева – Можайского в Вологде. – URL: https://vologda-portal.ru/novosti/index.php? ID=433767&SECTION_ID=163 (дата обращения 13.02.2022) – Текст : электронный.

3. Вологодское кольцо установило рекорд по ДТП. – URL: [https://vologda-poisk.ru/news/dtp/vologodskoe-](https://vologda-poisk.ru/news/dtp/vologodskoe-koltso-ustanovilo-rekord-po-dtp-video)

[koltso-ustanovilo-rekord-po-dtp-video](https://vologda-poisk.ru/news/dtp/vologodskoe-koltso-ustanovilo-rekord-po-dtp-video) (дата обращения 13.02.2022). – Текст : электронный.

4. Рейтинг аварийных перекрестков / домашний интернет Baza.net. – URL: https://baza.net/dtp_stats (дата обращения 13.02.2022) – Текст : электронный.

5. Об утверждении Комплексной схемы организации дорожного движения на улично-дорожной сети муниципального образования «Город Вологда» : Постановление Администрации города Вологды от 30.10.2019 № 1533. – Текст : электронный. // Официальный сайт Администрации города Вологды (дата обращения: 15.03.2020). – Режим доступа : свободный.

A.V. Vostrov, A.O. Botkov
Vologda State University

CHANGE OF ACCIDENT RATE AT THE INTERSECTION OF KONEVA AND MOZHAISKOGO STREETS IN VOLOGDA AFTER ROUNDABOUT ORGANIZATION

This article presents a comparative analysis of the change in the accident rate at the intersection after the organization of a roundabout with the same traffic flows. The prevailing types of accidents before and after the organization of circular traffic with "accounted" accidents with the dead and wounded and with "unaccounted" accidents with material damage are investigated.

The accident rate of roundabout.



К РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ БАЛОК СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ ИЗ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ

В статье представлено экспериментально-теоретическое исследование конструирования балок составного сечения из стальных тонкостенных профилей с использованием отечественной нормативной литературы.

Балки составного сечения, стальные тонкостенные профили, теоретические расчеты, экспериментальное исследование, рекомендации.

В настоящее время в России еще недостаточен опыт применения тонкостенных стальных конструкций при возведении зданий и сооружений, хотя потребность в быстровозводимых модульных зданиях в стране постоянно возрастает.

Имеющийся зарубежный и отечественный опыт возведения стальных тонкостенных конструкций показал, что в сравнении с традиционными конструкциями, имеющими в своем составе прокатный профиль, преимуществами тонкостенных профилей являются: малый расход металла, стойкость против коррозии за счет использования защитного цинкового покрытия; возможность быстрого построеночного изготовления и снижение затрат на возведение реальной конструкции.

Однако представленная в литературе информация в большей степени освещает типы сечений из тонкостенных сплошных профилей и недостаточно составные сечения из них для перекрытий и покрытий зданий. В технической литературе ограничена информация по конструированию составных балок и ферм.

Такие пробелы связаны в первую очередь с недостаточной разработкой нормативной базы по конструированию тонкостенных конструкций. Выход в свет свода правил СП 260.1325800.2016 [1] по проектированию тонкостенных конструкций дает возможность их разрабатывать и успешно применять в строительстве, но он не рассматривает проектирование составных сечений, использование которых позволит увеличить перекрываемые пролеты зданий и сооружений.

Первые попытки использования составных сечений из тонкостенных профилей были освещены в работе «Ограждающие и несущие конструкции из стальных тонкостенных профилей» [2], где были представлены результаты экспериментального исследования трех типов конструктивного решения балок составного сечения из тонкостенных профилей на крупномасштабных моделях. Первый тип балок имел одностенчатую конструкцию: стенка из стального профилированного листа, имеющего вертикально ориентированные гофры, пояса выполнены из спаренных С-образных профилей высотой 90 мм и толщиной 2 мм. Элементы сечения соединялись самонарезающими винтами диа-

метром 4,8 мм. Основные геометрические характеристики: длина балки – 3200 мм, высота балки по осям – 310 мм, соотношение высоты сечения к пролету – 1/10. Второй тип сечения балок имел двустенчатую компоновку сечения, что обеспечивало улучшение технологичности и трудоемкости изготовления балок. Третий тип балок аналогичен второму, но в отличие от второго имел усиление листами-раскосами в опорной части балки. В работе [2] приводятся результаты натурных испытаний и отсутствует информация о теоретических методах расчета балок.

В статье «Конструктивное решение стальной балки из тонкостенных холодногнутых профилей» [3] представлены результаты численного исследования нескольких вариантов сечения составных балок из тонкостенных профилей, произведен выбор оптимального сечения с учетом редуцирования сечения и проведены натурные испытания балки оптимального сечения. Численные исследования по конструированию балок составного сечения выполнялись автором по зарубежным нормам [4, 5]. Экспериментальные исследования выполнены на балках в натуральную величину. Теоретические расчеты прогиба балок и результаты эксперимента показали хорошую сходимость (4,68–10,5 %). Разрушение балки (предельное состояние) наступило в результате потери местной устойчивости верхней полки в середине пролета.

Все рассмотренные выше публикации основаны на подборе оптимального составного сечения по зарубежным нормам или экспериментальной проверке сечений на крупномасштабных моделях.

Целью настоящего исследования является разработка эффективного сечения балок составного сечения из тонкостенных профилей, выявление возможности использования отечественной нормативной литературы для расчета балок и оценка их несущей способности экспериментальным путем. Особенность работы и расчета таких балок связана с их тонкостенностью и, в связи с этим, с возможной потерей местной устойчивости элементов сечения, что требует использования при расчете редуцированных характеристик сечений взамен геометрических.

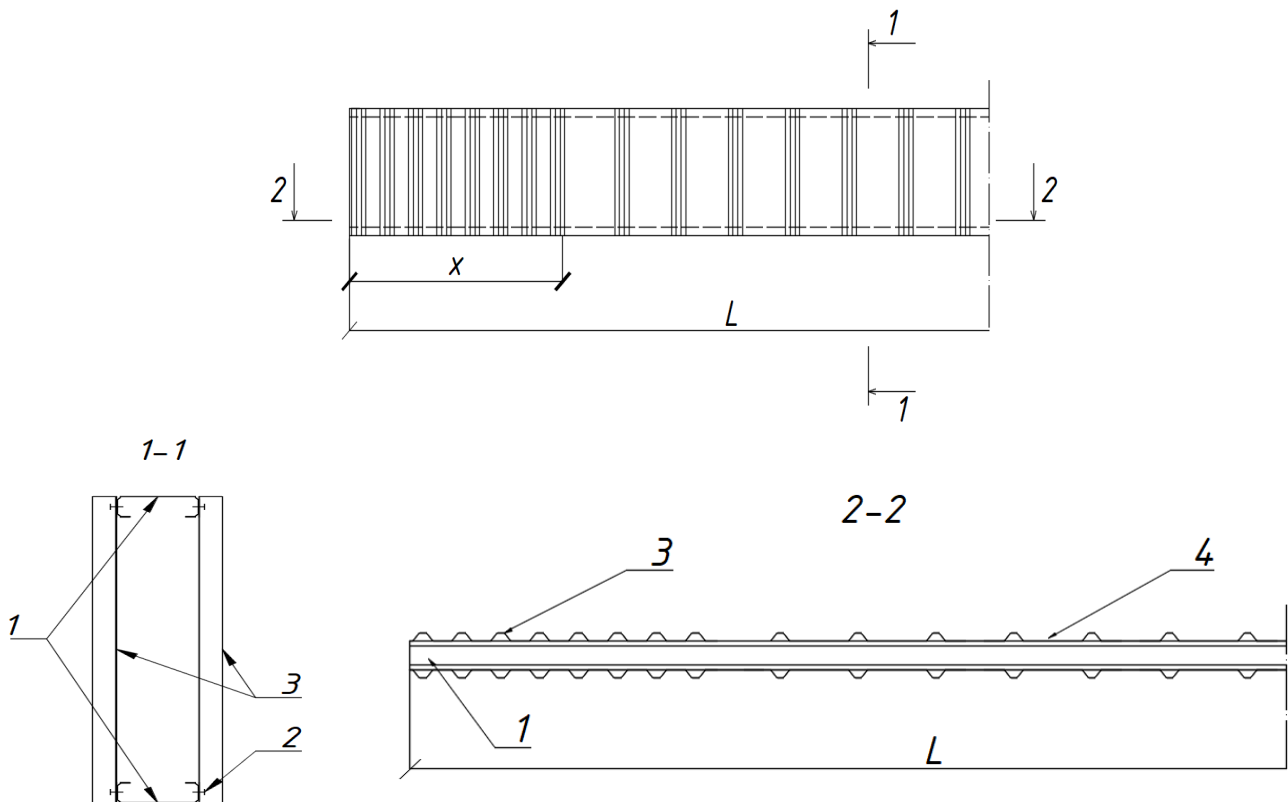


Рис. 1. Составное сечение балки из тонкостенных профилей:
 1 – полки из одиночных С-образных профилей; 2 – самонарезающие винты;
 3 – стенка из профилированных листов с малым шагом гофрирования
 в приопорных зонах; 4 – стенка из профилированных листов
 с большим шагом гофрирования в середине пролета

В статье рассматривается конструкция коробчатой балки составного сечения из тонкостенных профилей. Балка состоит из двух поясов, которые могут выполняться из С- или П-образных профилей, и стенки из профилированных листов. Используется профлист разного сечения профиля: в приопорной зоне профилированные листы имеют меньший шаг гофров, в пролете – больший, что связано с изменением интенсивности действующих усилий по длине балки. Использование для стенки профилированных листов разного профиля приводит к повышению эффективности сечения составных балок и снижению их металлоемкости.

Профилированные листы с поперечным расположением гофров прикрепляются к поясам самонарезающими винтами. Технология изготовления предложенной конструкции обладает минимальным количеством операций, а также удобна в транспортировке в виде сборочных элементов, что обеспечивает применение таких балок в удаленных районах с неразвитой строительной инфраструктурой.

Предложенная конструкция облегченной балки запатентована [6] и представлена на рисунке 1.

Отличительными особенностями разработанной конструкции балки составного сечения из тонкостенных профилей по сравнению с рассмотренными ранее являются:

- 1) коробчатая форма поперечного сечения;
- 2) полки из одиночных С- или П-образных профилей;
- 3) использование для стенки составной балки профилированных листов с различным шагом гофрирования.

К факторам, обуславливающим особенности работы профилированного листа в составной балке, относят:

- тонкостенность профиля;
- форму гофров;
- несимметричность поперечного сечения;
- значительные различия изгибных жесткостей в сечениях вдоль и поперек гофров;
- начальные несовершенства;
- условия сопряжения;
- ранняя стадия наступления потери местной устойчивости для сжатых широких граней.

В статье используются результаты экспериментально-теоретических исследований, выполненных магистрантом Д.А Каберовым. Для проведения экспериментальных исследований была изготовлена модель балки. Размеры модели балки ограничивались размерами испытательного стенда. Пролет балки принят 1,5 м, высота сечения 250 мм. Для балки использовались тонкостенные профили, профнастил,

самонарезающие винты, имеющие сертификаты качества.

Экспериментальное исследование составного сечения балки из тонкостенных профилей проводилось с целью изучения ее работы под нагрузкой. Основные задачи исследований заключались в оценке жесткости балки коробчатого сечения, потери местной устойчивости ее элементов; анализе совместной работы П-образных поясов со стенкой, выполненной из профилированных листов с разным шагом гофрирования на опорных участках и в середине пролета, сопоставление теоретических и экспериментальных исследований.

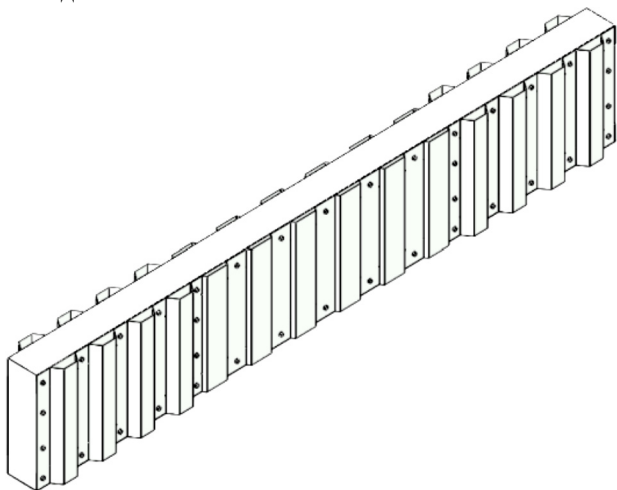


Рис. 2. Общий вид балки составного сечения

Общий вид балки составного сечения приведен на рисунке 2. Верхний и нижний пояса выполнены из тонкостенного профиля ПН 75-40-06 по ТУ [7]. В связи с отсутствием в сортаменте профлистов, имеющих одинаковую высоту и разный шаг гофров, в эксперименте для стенки использовались профлист С21 и С8 по ТУ [8, 9]. Профлист С21 с шагом гофров 100 мм использовался в приопорных зонах как более жесткий, профлист С8 с шагом гофров 115 мм – в середине пролета.

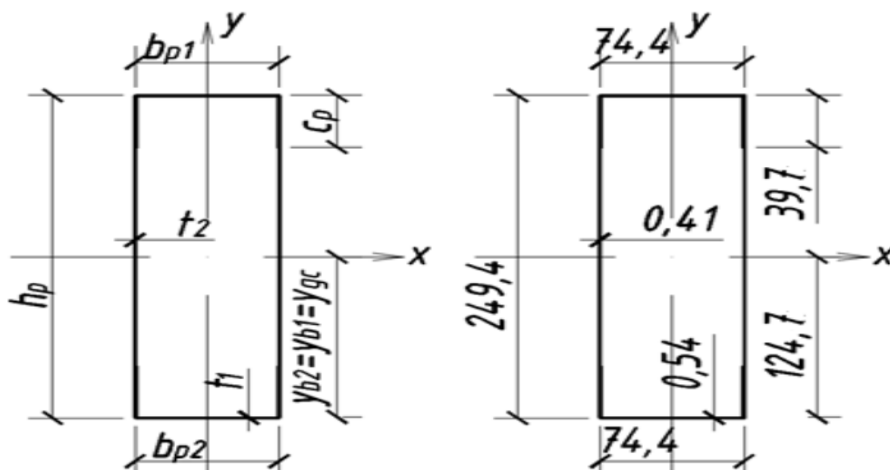


Рис. 4. Составное сечение балки брутто

Теоретическая оценка несущей способности балки проводилась по СП260.1325800.2016 [1].

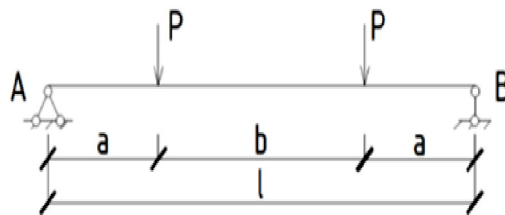


Рис. 3. Расчетная схема балки

Расчетная схема балки приведена на рисунке 3. Она представляет собой однопролетную шарнирно опертую балку, выполненную из стальных тонкостенных профилей и профилированных листов согласно Техническим условиям [5–7] и нагруженную сосредоточенными силами P .

Предварительно при компоновке сечения составной балки произведена проверка жесткости элементов сечения для исключения преждевременной потери устойчивости самого элемента составного сечения. Отношения ширины и высоты элементов к их толщине не должны превышать максимальных нормативных значений по таблице 7.3 в СП 260.1325800.2016 [1]. Вычисленные соотношения геометрических параметров поперечного сечения для профиля ПН 75-40-06 по [7] и профнастила С8 и С21 толщиной 0,45 мм по [8, 9] выполняются. Проверка влияния зон сгиба на геометрические характеристики сечения показывает возможность пренебрежения закруглениями углов сгиба, поэтому их влияние не учитывается и расчет поперечного сечения выполняется без учета закруглений.

Расчет балки ведется по минимальной жесткости поперечного сечения (сечение между гофрами). Для балки вычисляются редуцированные характеристики:

- эффективная площадь поперечного сечения;
- момент сопротивления эффективного сечения;
- радиус инерции эффективного сечения.

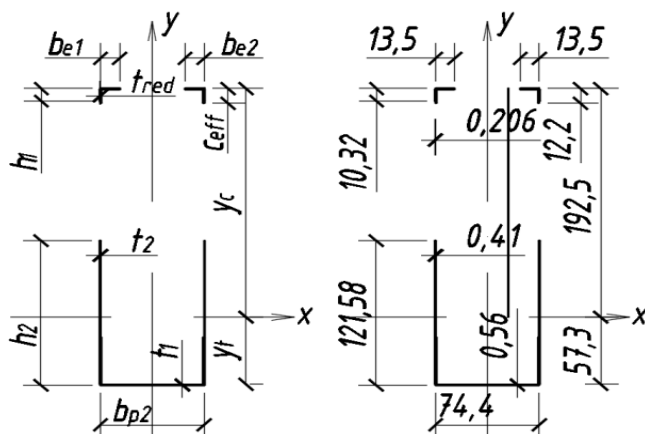


Рис. 5. Теоретическое эффективное составное сечение при изгибе балки

Геометрические характеристики сечения брутто (без учета закруглений) определяются при помощи сателлита программного комплекса Scad «Конструктор сечений». Сечение брутто показано на рисунке 4. Тот же программный комплекс используется для оценки характеристик эффективного сечения составной балки. Эффективное сечение при изгибе балки приведено на рисунке 5.

Численные исследования рассматриваемого сечения балки показывают, что несущая способность принятого сечения исчерпывается потерей местной устойчивости стенки балки вблизи опор. Теоретическое значение нагрузки, при которой происходит потеря местной устойчивости, составляет $P=1,65\text{кН}$.

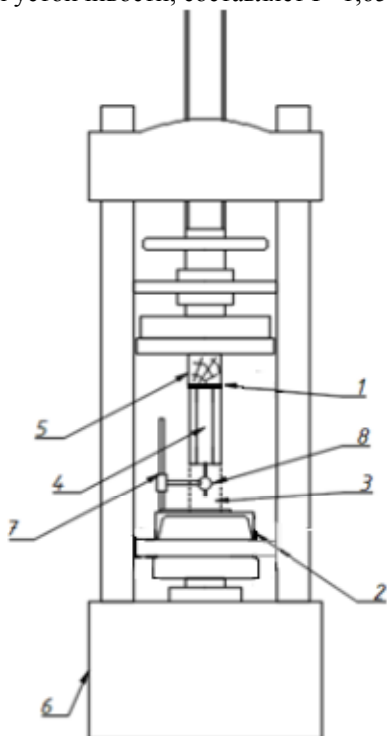


Рис. 6. Схема установки образца на испытательный стенд: 1 – стальные пластины в местах передачи нагрузки; 2 – швеллер; 3 – опора под образцом; 4 – опытный образец – балка; 5 – траверса из бруса ($100\times 100\text{ мм}$); 6 – гидравлический пресс П-50; 7 – штатив; 8 – индикатор часового типа

На рисунке 6 приведена схема установки опытного образца на испытательный стенд. Опора А и опора В выполняются в соответствии со схемой нагружения. Поворот балки на опорах относительно продольной оси исключается обжатием в испытательной машине. В качестве нагружающего устройства применен гидравлический пресс П-50.

Опытный образец балки в торцах имеет опорные диафрагмы, которые исключают деформации сечения на концах опытного образца, что соответствует его работе в реальных рабочих условиях. Закрепление соответствует расчетной схеме шарнирно-опертой балки, допуская, что можно пренебречь изгибными – стесняющими деформациями крепежных элементов.

На испытательный стенд под опытный образец устраивается основание из швеллера. На швеллере устанавливаются опорные площадки из прямоугольных стальных пластинок, на которые укладывается испытываемый образец балки; усилие, которое создает испытательная машина, передается в виде двух сосредоточенных сил через траверсу (брус $100\times 100\text{ мм}$).

Опытный образец нагружается ступенями, которые составляют около 10 % от несущей способности, определенной теоретическими расчетами. Измерение перемещений и деформаций производится на каждой стадии нагружения в характерных местах конструкции. Отсчеты перемещений и деформаций опытного образца снимаются после стабилизации конструкции от очередной ступени нагрузки. Оценка несущей способности балки составного сечения производится по величине сосредоточенных сил по схеме (рис. 3), которые соответствуют факту достижения предельных напряжений, потери устойчивости верхнего пояса или стенки тонкостенной балки, деформаций элементов сечения в области приложения нагрузки. К внешним признакам потери устойчивости тонкостенной балки относятся: потеря базовых плоскостей полков и стенок (потеря происходит из-за напряжений сжатия в верхнем поясе при изгибе либо при выходе из плоскости изгиба под действием внешней нагрузки); образование переломов, складок по углам профиля.

Результаты испытаний сравниваются с расчетом численными методами. В работе экспериментально определена максимальная нагрузка, которую может выдержать балка составного сечения из тонкостенных оцинкованных профилей. Она составляет $P=3$ кН, при этом происходит потеря местной устойчивости стенки вблизи опоры. Теоретическая нагрузка составляет 1,65 кН. Она меньше экспериментальной в 1,8 раза.

Полученные экспериментальные и теоретические исследования говорят о возможности конструирования составных сечений из тонкостенных профилей, используя расчеты по СП 260.1325800.2016 [1]. Расчеты выполняются в запас прочности.

Учитывая отсутствие в настоящее время в сорimente профилированных листов одной высоты с разным шагом профилирования, рекомендуется доработать технические условия [8, 9] и разработать технологию производства профлиста с разным шагом гофров, что позволило бы конструировать балки составного сечения, заявленные в патенте RU192781 [6], и получать эффективное сечение составных балок из тонкостенных профилей с минимальной материалоемкостью.

Литература

1. СП 260.1325800.2016. Свод правил. Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутого оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования : утверждено Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального

хозяйства РФ 03.12.2016 : введен 04.06.2017. – Москва : ЦНИИПСК им. Мельникова, 2016. – 116 с.

2. Ограждающие и несущие строительные конструкции из стальных тонкостенных профилей : монография / Л. В. Енджиевский, И. И. Крылов, А. Н. Крестинин, А. В. Терешкова. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2010. – 282 с.

3. Фроловская, А. В. Конструктивное решение стальной балки из тонкостенных холодногнутого профилей / А. В. Фроловская, С. Л. Шамбина, Ю. М. Петрова // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. – 2017. – № 1 – С. 7–13.

4. EN 1993-1-3:2006. Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1-3: General Rules. Supplementary Rules for Coldformed Members and Sheeting. – Brussels : CEN, 2006. – 134 p.

5. AISI S100-2007. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. – Washington: American Iron and Steel Institute, 2007. – 198 p.

6. Патент 192781 Российская Федерация, МПКЕ04С 3/02, Е04С 3/07. Балка составного сечения из тонкостенных оцинкованных профилей : опубл. 01.10.2019, бюл. № 28 / И. С. Казакова, Д. А. Каберов ; Патентообладатель ФГБОУВО ВоГУ.

7. ТУ 1121-012-04001508-2011. КНАУФ-профили стальные, оцинкованные, тонкостенные.

8. ТУ 1122-002-97492033-2011. Профили стальные гнутые с трапециевидными гофрами С8.

9. ТУ 1122-002-97492033-2012. Профили стальные гнутые с трапециевидными гофрами С21, НС44.

I.S. Kazakova
Vologda State University

ON DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION SOLUTION FOR COMPOSITE BEAMS MADE OF THIN-WALLED STEEL PROFILES

The article presents an experimental and theoretical study of the construction of composite beams made of thin-walled steel profiles using Russian regulatory literature.

Composite cross-section beams, thin-walled steel profiles, theoretical calculations, experimental research, recommendations.



И.Р. Капуш, А.С. Семенов
Владимирский государственный университет
имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ДОЛОМИТА ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ СИНТЕЗА БЕТОНА

В статье рассмотрены варианты внедрения отходов горнодобывающей промышленности Владимирской области в производство строительной продукции. Получены экспериментальные данные эксплуатационных характеристик материалов и обосновано их применение в различных видах бетона.

Бетон, магнизиальное вяжущее, отходы промышленности, синтез.

Современная строительная отрасль подчиняется ряду технологических, экономических и экологических тенденций. Это касается как самого процесса строительства в целом, так и строительных конструкций и материалов. Классические виды бетона, выполненные из простого вяжущего (портландцемента) и классического заполнителя, все менее актуальны в эпоху «зеленого строительства». На данный момент активно рассматривается использование отходов промышленности для синтеза бетонов, что позволило бы расширить перечень существующих бетонов и утилизировать побочные продукты производств. Для решения данной проблемы в исследовании предлагается использовать местные отходы производств для синтеза бетона, что позволило бы утилизировать вторсырье в регионе.

Одной из главных отраслей производства в нашей стране, богатой полезными ископаемыми и подземными ресурсами, является горнодобывающая промышленность [1]. На рисунке представлен график изменения объема финансирования горнодобывающей промышленности и график изменения числа объектов горной добычи. Исходя из рисунка можно сделать вы-

вод о том, что данная отрасль очень перспективна и довольно быстро развивается.

Но любой технологический процесс неидеален и имеет свои минусы. Не является исключением и данная отрасль, которая по данным РОССТАТА [2] выделяет многомиллионное количество побочного продукта. В таблице 1 представлен ежегодный объем вторсырья горнодобывающей промышленности.

Таблица 1

**Ежегодный объем отходов
горнодобывающей промышленности**

Год	Объем отходов, млн т
2012	3334,6
2013	3818,7
2014	4629,3
2015	4701,2
2016	4807,3
2017	4653,0
2018	4723,8
2019	4968,1
2020	5386,2



Рис. Количество финансирования и число объектов горнодобывающей промышленности

Анализируя таблицу можно сделать вывод о том, что проблема утилизации отходов стоит довольно остро в каждом регионе, где ведется добыча полезных ископаемых.

Во Владимирской области насчитывается множество различных месторождений полезных ископаемых, и практически на каждом ведется добыча, как следствие – образование отходов. Особый интерес вызывают залежи доломита и брусита, которые имеются во Владимирской области (Муромский район, Меленковский район), где возникает острая необходимость утилизации скопившихся в отвалах отходов в виде муки, что делает актуальными задачи по переработке данного материала.

Для реализации поставленной задачи были изучены свойства и структура доломита, который в эксперименте выступает в роли вяжущего. В таблице 2 представлен минералогический состав отходов доломита.

Доломит представляет собой магниальное связующее на основе оксида магния, затворяемого раствором солей магния, как правило хлорида магния и/или сульфата магния [3]. Срок схватывания: начало – не ранее 20 мин, конец – не позднее 6 ч с момента затворения теста нормальной густоты. Отличается повышенной прочностью сцепления, особенно с древесными материалами. В качестве древесных материалов была использована костра технической конопли с Вязниковского района, также являющаяся побочным продуктом текстильной промышленности.

Подбор базового состава бетона производился исходя из среднего уровня прочности, теплопроводности

и плотности бетона. Были созданы несколько составов для синтеза легкого бетона, выступающего в роли теплоизоляционных плит, и несколько составов для конструкционно-теплоизоляционного бетона, способного воспринимать нагрузку. Принципиальное различие состава бетона заключался в количестве древесного заполнителя – чем больше его доля в составе, тем меньше коэффициент теплопроводности и тем более энергоемкий материал [4]. Для синтеза конструкционно-теплоизоляционного бетона применялось минимальное количество заполнителя, так как необходимо создать бетон с высокой прочностью, которая зависит напрямую от вяжущего. На основании вышесказанного были синтезированы составы бетона, представленные в таблице 3.

В качестве затворителя был выбран раствор солей магния, увеличивающий способность сцепления доломита [5] и костры технической конопли за счет своей кристаллической решетки. После затворения и перемешивания до однородной сырьевой массы образцы помещались в специальные формы для набора прочности и последующего изучения эксплуатационных характеристик. Полученные результаты изучения эксплуатационных характеристик синтезированных композитов приведены в таблице 4.

Для сравнения эксплуатационных свойств полученных композитов с известными аналогами в таблице 5 представлены значения эксплуатационных характеристик различных видов легкого бетона в соответствии с ГОСТ 25820-2014 «Бетоны легкие. Технические условия» [6].

Таблица 2

Минералогический состав отходов доломита

Минерал	Массовое содержание минерала, %
Доломит	95,22
Кварц	0,62
Кальцит	4,16

Таблица 3

Составы синтезируемого бетона

Компонент, масс %	Назначение					
	Теплоизоляционный			Конструкционно-теплоизоляционный		
	ТБ1	ТБ2	ТБ3	К1	К2	К3
Затворитель	15	20	25	15	20	25
Костра технической конопли	65	60	55	20	20	20
Отходы доломита	20	20	20	65	60	55

Таблица 4

Эксплуатационные характеристики композитов

Марка состава	Наименование свойств		
	Плотность ρ , г/см ³	Прочность на сжатие R, МПа	Теплопроводность λ , Вт/м ² С
T1	392	1,2	0,08
T2	401,5	1,3	0,076
T3	404	1,3	0,079
K1	720	5,8	0,1
K2	714	5,3	0,096
K3	715	5	0,094

Свойства легких бетонов

Вид бетона	Значение характеристик			
	Плотность ρ , г/см ³	Прочность на сжатие R, МПа	Теплопроводность λ , Вт/м ⁰ С	Морозостойкость F, цикл
Теплоизоляционный	≤ 500	$\geq 0,3$	0,05–0,14	Не нормируется
Констр.-теплоиз.	≥ 500	≥ 1	0,14–0,3	≥ 25

Из таблиц 4 и 5 видно, что все виды синтезированного бетона из отходов производств удовлетворяют нормам и требованиям, предъявляемым к материалам этого класса.

Таким образом, изучена возможность утилизации отходов горнодобывающей промышленности, представляющих собой доломитовую муку, для создания бетонов различного спектра применения. Это позволяет не только снизить себестоимость продукта, но и улучшить экологическую обстановку путем утилизации отходов во Владимирской области. Представленные составы могут быть использованы как для создания теплоизоляционных плит и панелей с низким коэффициентом теплопроводности, так и в виде отдельных элементов или пазогребневых блоков с высокой прочностью для каркасного частного домостроения.

Литература

1. Баженов, Ю. М. Применение промышленных отходов в производстве строительных материалов / Ю. М. Баженов, Л. И. Дворкин // Стройиздат. – 2009. – С. 56–59.

2. Федеральная служба государственной статистики. Окружающая среда. Отходы производства и потребления. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194> (дата обращения: 06.04.2022). – Текст : электронный.

3. Барабанщиков, Ю. Г. Строительные материалы и изделия : учебник / Ю. Г. Барабанщиков. – Москва : Academia, 2019. – 368 с.

4. Алехин, Ю. А. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов / Ю. А. Алехин, А. Н. Люсов. – Москва : Стройиздат, 1988. – 342 с.

5. Страшнов, В. В. Загородное строительство. Самые современные строительные и отделочные материалы / В. В. Страшнов, О. М. Страшнова. – Москва : АСТ, 2015. – 124 с.

6. ГОСТ 25820-2014. Бетоны легкие. Технические условия : межгосударственный стандарт : введен 2010-07-01. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 06.04.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

I.R. Kapush, A.S. Semenov

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs

**VLADIMIR REGION DOLOMITE WASTE DISPOSAL
FOR CONCRETE SYNTHESIS**

The article considers options for introducing waste from the mining industry of Vladimir region into the production of construction products. Experimental data on the operational characteristics of materials have been obtained and their use in various types of concrete has been substantiated.

Concrete, magnesia binder, industrial waste, synthesis.



ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ КИРПИЧНЫХ ФАСАДОВ ЖИЛОГО ДОМА В Г. ВОЛОГДЕ

В работе представлены результаты обследования фасадов жилого дома. Объектом исследования выбран жилой кирпичный дом 1958 года постройки. Обследование было проведено методами фотограмметрии и обзорного фото с целью оценки возможностей фотограмметрии. Выявлены дефекты и повреждения, составлены схемы дефектов фасадов дома.

Обследование, оценка технического состояния, дефекты, повреждения, кирпичная кладка, фотограмметрия.

При проведении обследования фасадов эксплуатируемых зданий выделяют две основные задачи:

- оценка технического состояния наружных стен по несущей способности, которые при проведении ремонтных работ являются основанием для крепления наружного утепления;
- оценка теплотехнических свойств наружных стен.

При оценке несущей способности наружных стен в соответствии с классификатором основных видов дефектов конструктивных элементов дефекты и повреждения характеризуют как:

- критические, при наличии которых конструкция наружной стены функционально непригодна для дальнейшей эксплуатации, что может повлечь потерю или снижение прочности и устойчивости наружных стен;
- значительные, при наличии которых ухудшаются эксплуатационные характеристики наружных стен.

При оценке технического состояния наружных кирпичных стен основным фактором, влияющим на прочность кладки, является начальная прочность кладки, зависящая от марки кирпича и раствора, принятых в проекте. При отсутствии данных необходимо определить эти параметры кладки, если проводится дополнительное нагружение наружных стен при реконструкции, при проведении только наружного утепления стен достаточно оценить состояние кладки по наличию дефектов и повреждений.

При оценке качества кирпича к дефектам критического характера относится несоответствие прочности и морозоустойчивости проектным данным, наличие известковых включений, недожженность и пережженность.

К дефектам значительного характера относят дефекты, связанные с наличием трещин в кирпичах, и их соответствие по плотности, указанной в маркировке [3].

Отклонение допускается $+50 \text{ кг/м}^3$ для классов 0,7; 0,8; 1,0 и $+100 \text{ кг/м}^3$ для остальных классов.

Визуальная оценка определяет степень повреждения и соответственно необходимость усиления наружных стен в соответствии с данными таблицы 1.

Таблица 1

Снижение несущей способности в зависимости от состояния кладки

<i>Состояние и степень повреждения (в скобках)</i>	<i>Снижение несущей способности, %</i>	<i>Усиление конструкции</i>
слабое (I)	до 15	требуется при наличии трещин
среднее (II)	до 25	требуется
сильное (III)	до 50	требуется
полное (IV)	свыше 50	возможно при технико-экономическом обосновании или разборке

Виды дефектов и повреждений, характеризующие состояние наружных стен, приведены в [6].

Время появления дефектов на стадии строительства составляет около 20 %, в процессе эксплуатации – около 22 %, в том числе в первый год эксплуатации – примерно 9 %, при эксплуатации до 15 лет – 7 %, свыше 15 лет – 6 %, а на период после капитального ремонта – 3 %. В зарубежных источниках разброс по времени появления дефектов составляет на стадии проектирования 5–33 %, на стадии строительства – 22–53 %, на стадии эксплуатации – 19–55 %. На кирпичные конструкции в объеме здания на каждой стадии приходится около 18,8 % дефектов и повреждений [4–5].

Объект исследования – фасады многоквартирного жилого дома по адресу г. Вологда, ул. Герцена, д. 46, имеющего следующие характеристики:

- год ввода в эксплуатацию – 1958 г.;
- количество этажей – 3;
- количество подъездов – 2;
- общая площадь здания – 1296,4 м²;
- запланированный капитальный ремонт фасада – 2025 год;

Были использованы два метода: фотограмметрия и обзорное фото с целью оценки возможностей фотограмметрии. Результаты представлены на рисунках 1–3.

Основными достоинствами фотограмметрического метода являются:

- высокая точность результатов, так как снимки объектов получают прецизионными фотокамерами, а их обработку выполняют, как правило, строгими методами;
- высокая производительность, достигаемая благодаря тому, что измеряют не сами объекты, а их изображения. Это позволяет обеспечить автоматизацию процесса измерений и последующих вычислений;
- объективность и достоверность информации, возможность при необходимости повторения измерений;
- возможность получения в короткий срок информации о состоянии как всего объекта, так и отдельных его частей, в частности фасадов;
- безопасность ведения работ, так как съемка объекта выполняется неконтактным (дистанционным) методом.

Использование фотограмметрии позволило более точно определить размеры трещин, размеры повреж-

дения отделочного слоя, объемы повреждения карнизной части в уровне второго и третьего этажей без дополнительных трудозатрат и сократить сроки обследования. Расхождения результатов по фотограмметрии и ручных замеров составили 2–4 %.

При обследовании здания были выявлены следующие дефекты и повреждения:

- отслоение и отпадение штукатурки стен;
- выветривание швов;
- ослабление кирпичной кладки, выпадение отдельных кирпичей (рис. 3)
- разрушение защитного слоя карнизных свесов (рис. 4);
- увлажнение поверхности стен, плесень;
- трещины от углов оконных проемов (рис. 5)
- оголение несущей конструкции балконов (рис. 6);
- трещины в цокольной части здания (рис. 7);
- поврежденные оконные рамы, требующие замены при капитальном ремонте.

По результатам обследования выполнены схемы дефектов по фасадам (рис. 7).



Рис. 1. Фасад 1 методом фотограмметрии



Рис. 2. Фасад 2 методом фотограмметрии



Рис. 3. Фасад 3 обзорное фото



Рис. 4. Дефекты кирпичных стен



Рис. 5. Дефекты карнизной части стены



Рис. 6. Дефекты балконов и трещины в стене



Рис. 7. Трещины в цоколе

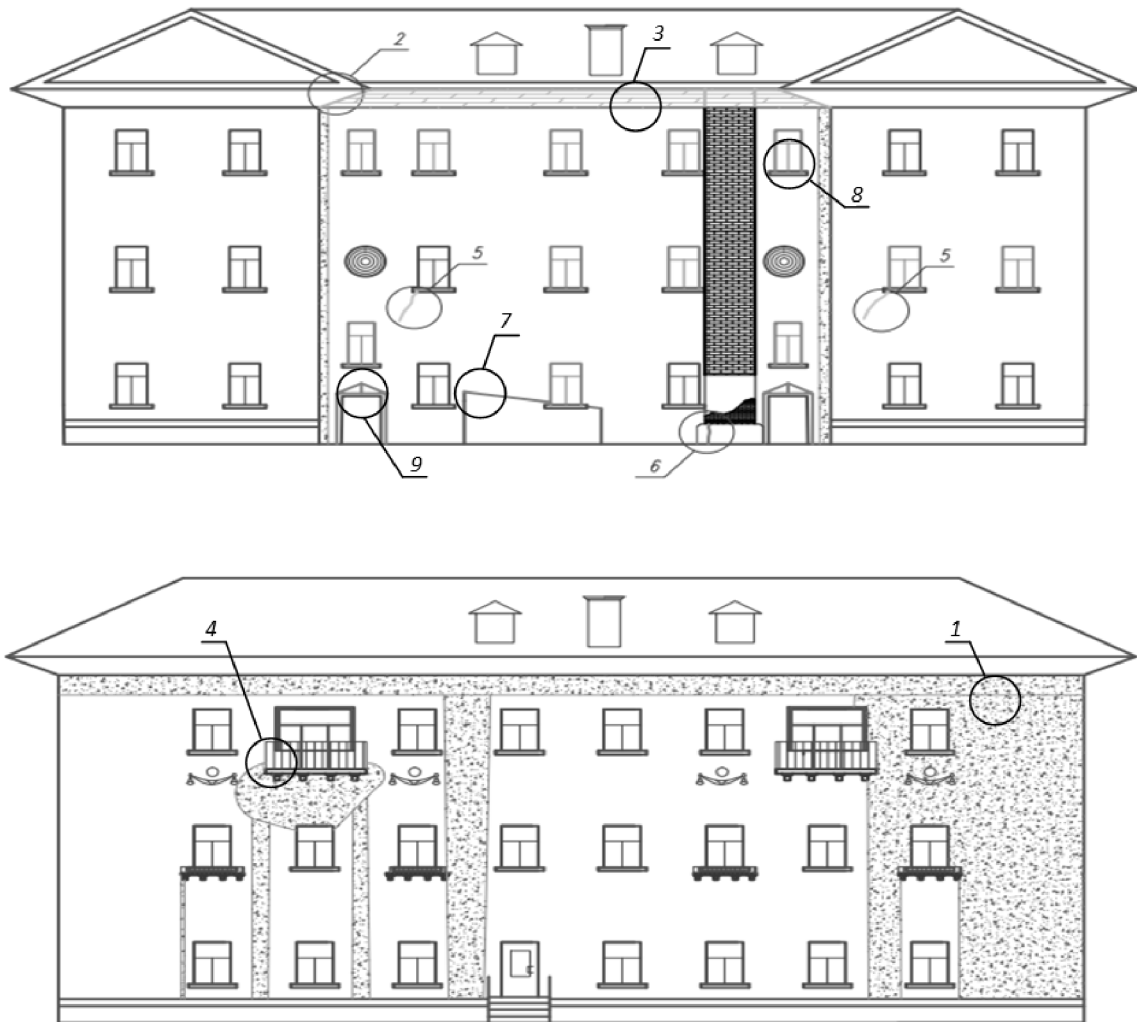


Рис. 8. Дефекты фасадов: 1 – отслоение и отпадение штукатурки стен, выветривание швов, ослабление кирпичной кладки, выпадение отдельных кирпичей; 2 – разрушение защитного слоя; 3 – увлажнение поверхности стен, плесень; 4 – оголение несущей конструкции балконов; 5 – трещины от углов оконных проемов; 6 – трещины в цокольной части здания; 7 – кровельный материал входа в подвал требует замены; 8 – старые деревянные рамы; 9 – старых козырьков, неподходящий к фасаду

Физический износ фасадов здания

Наименование участков	Удельный вес участка к общему объему элемента, %	Физический износ участков элементов, %	Определение средневзвешенного значения физического износа участка, %	Доля физического износа участка в общем физическом износе элемента, %
Стены кирпичные	75	35	$(75/100) \times 35$	26,25
Балконы, козырьки	5	60	$(5/100) \times 60$	3
Цоколь	5	15	$(5/100) \times 15$	0,75
Итого	100			39,75

Оценка физического износа фасада здания выполнена в табличной форме (табл. 2) [1, 2].

Здание эксплуатируется более 60 лет, что составляет больше половины минимального нормативного срока эксплуатации, капитальный ремонт здания не производился.

При оценке технического состояния фасадов здания выявленные дефекты и повреждения можно классифицировать в следующей пропорции:

- критические – около 10 %;
- значительные – около 29,75 %.

Степень повреждения фасадов находится между средней и сильной (39,75 %) и требует усиления части конструкций.

Выявленные дефекты и повреждения относятся к стадии эксплуатации, дефектов и повреждений материалов выявлено не было.

В целом можно отметить достаточно хорошее качество материалов и выполнения кладочных работ в период 1950–1960 годах, позволяющее эксплуатировать здания до 100 лет и более.

Литература

1. ВСН 53-86(р). Ведомственные строительные нормы. Правила оценки физического износа жилых зданий : введен 1987-07-01. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

2. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния : введен 2014-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 59 с.

3. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия = Ceramic brick and stone. General specifications : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен 2013-07-01. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Касимов, Р. Г. Дефекты и повреждения строительных конструкций, методы и приборы для их количественной и качественной оценки : учебное пособие / Р. Г. Касимов ; Оренбургский государственный университет. – Оренбург : ОГУ, 2016. – 109 с.

5. Михалевиц, Н. В. Оценка влияния внешних факторов на работоспособность кирпичной кладки / Н. В. Михалевиц, Е. Н. Шахова // Актуальные вопросы развития строительной отрасли : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Вологда : ВоГУ, 2020. – С. 32–37.

6. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений / ЦНИИ строительных конструкций имени В. А. Кучеренко. – Москва : Стройиздат, 1984. – 36 с.

N.V. Mikhalevich, L.E. Shashkova
Vologda State University

SURVEY OF RESIDENTIAL HOUSE BRICK FACADES CONDITION IN VOLOGDA

The paper presents the results of a survey of the facades of a residential building. The object of the study is a residential brick house built in 1958. The survey was carried out by two methods: photogrammetry and overview photo in order to assess the possibilities of photogrammetry. Defects and damages were identified, diagrams of defects in the facades of the house were drawn up.

Survey, technical condition assessment, defects, damage, brickwork, photogrammetry.



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕСЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-АРМИРУЮЩИХ ДОБАВОК В СОСТАВ ОПИЛКОБЕТОНА

В статье рассмотрено влияние внесения различных пространственно-армирующих добавок в состав строительного композита на основе отходов лесной промышленности (опилкобетона), сравнительный анализ результатов исследования образцов, полученных с применением таких компонентов и без их внесения, а также приведен обзор существующих на рынке вариантов фиброволокон.

Фибра, опилкобетон, отходы лесной промышленности, композиты.

Сегодня основными источниками образования древесных отходов являются лесопромышленные комплексы и деревоперерабатывающие комбинаты. Кроме того, древесные отходы образуются при санитарной рубке, в процессе ухода за зелеными насаждениями на улицах, в парках, скверах, бульварах и лесопарках. Получение экологически чистых дешевых строительных материалов, свободных от десорбирующих химических веществ, – одна из важных проблем строительного материаловедения. Благодаря применению различных технологий переработки возможно вовлечь большую долю древесных отходов в производство подобных материалов. Исследование свойств таких композитов может позволить вывести их характеристики на качественно новый уровень. Мы обратили внимание на возможность увеличения прочности таких композитов путем введения в их состав пространственно-армирующих добавок – фиброволокон различного происхождения (стеклофибра, базальтовая фибра, полипропиленовая фибра).

На сегодняшний день тема вовлечения древесных отходов в производство различных композитов широко рассматривается в науке. Также часто выносятся на обсуждение тема применения пространственно-армирующих добавок в составе различных строительных композитов. Однако применение таких компонентов для улучшения свойств композитов на основе отходов лесной промышленности не находит рассмотрения. Исследование носит передовой, инновационный характер.

Современная альтернатива армированию – применение специальной фибры для бетона, которую добавляют в бетонный раствор. В зависимости от материала, фиброволокно делится на несколько разновидностей [1]:

1. **Фибра стальная** – отличается повышенной стойкостью к температурным перепадам, увеличенным запасом прочности. Это позволяет использовать ее в помещениях производственных предприятий, где на прочность и долговечность бетона отрицательно влияют повышенные нагрузки, вибрация и поверхностное истирание. Стальные волокна восприимчивы к воз-

действию повышенной влажности, а также имеют увеличенный вес по сравнению с фиброволоконными аналогами из других материалов. Наиболее часто используется фибра стальная в виде анкерных и волнообразных волокон.

а. **Фибра анкерная стальная** – ее производят из низкоуглеродистой проволоки общего назначения (термически не обработанной), в соответствии с ГОСТ 3282-74, EN 10016-4, C12D2 – C18D2. Длина 50–60 мм, диаметр 1 мм, предел прочности на разрыв от 950 до 1350 Н/мм².

б. **Фибра стальная волновая** – такое волокно изготавливается из стальной низкоуглеродистой и высокоуглеродистой проволоки, произведенной в соответствии с ГОСТ 3282-74, ГОСТ 9389-75.

2. **Фибра из базальта** – обеспечивает целостность бетонной основы даже при возникновении сквозных трещин. Эти достоинства позволяют использовать материал для заливки полов в зданиях, возводимых в сейсмически активных зонах, а также в помещениях с увеличенной концентрацией влаги.

3. **Углеродная фибра** – добавка, наделенная существенными достоинствами, зачастую отсутствующими у других фиброволокон. Она не подвержена коррозии (в отличие от стальной), обладает стойкостью к щелочам (что отсутствует у базальтовой и стеклофибры), имеет отличное сцепление с бетоном (чем не может похвастаться полипропиленовая фибра). Углеродная разновидность достаточно дорога по сравнению с остальными, однако маленький расход и отличные качества это компенсируют.

4. **Фибра из полиамида** – добавляет раствору цепкости, эластичности и прочности, улучшает гидроизоляционные свойства, морозо- и химическую стойкость. Ее можно вводить и в сухие смеси, и в растворы с водой. Обладает низкой ценой и отличается малым расходом.

5. **Стеклофибра** – представляет собой нарубленное стекловолокно. При перемешивании раствора добавка распадается на волокна и становится практически невидимой. Стеклофибра помогает уменьшить усадку и растрескивание бетона. Она устойчива к воз-

действиям агрессивных сред и коррозии. Обладает хорошей прочностью, эластичностью и упругостью.

6. Фибра из полипропилена – фибра, имеющая уменьшенный вес, характеризующаяся стойкостью к воздействию агрессивных веществ. Армирующий материал является диэлектриком, что позволяет безопасно использовать его как для стяжки обогреваемой напольной основы, так и в качестве стандартного выравнивающего покрытия. Приемлемая цена фиброволоконного наполнителя позволяет применять его в частном строительстве для решения широкого круга задач – начиная от стяжки пола и заканчивая штукатуркой стен. Одна из наиболее активно используемых добавок. Благодаря ей бетон становится менее подвержен разрушению, истиранию и образованию трещин.

7. Асбестовая фибра – фибра, характеризующаяся долговечностью, стойкостью к щелочной среде, нагрузкам и термозащитными качествами. Значительно увеличивает сроки эксплуатации готовых изделий и ценится за огнеупорность.

8. Макросинтетическая фибра – эффективно предотвращает образование трещин. Не подвержена коррозии. Содержит два типа волокна для равномерного распределения внутри раствора без образования «ежей». Макросинтетическая фибра из-за своей недостаточной длины и слабого сцепления в меньшей степени способствует снижению истираемости, однако благоприятно влияет на морозостойкость фибробетонов и увеличивает количество циклов замораживания–оттаивания в 1,5–2 раза.

9. Полимерная фибра (ПАН-фибра) – это волокна из полимерного материала длиной от 3, 6, 12, 18, 24 мм и выше. Основное преимущество полимерной фибры – она придает бетону пластичность. Используется в дорожном строительстве, для устройства промышленных полов, цементно-песчаных стяжек, изготовления ЖБИ.

Анализируя приведенные варианты фиброволокон, можно с уверенностью сказать, что рассмотренные в данной статье добавки находят широкое применение на практике.

Целью работы является исследование возможности и анализ целесообразности внесения различных пространственно-армирующих добавок в состав строительного композита на основе отходов лесной промышленности (опилкобетона) [2].

После рассмотрения различных вариантов использования отходов лесной промышленности мы решили остановиться на опилкобетоне, так как данный материал имеет широкие перспективы для улучшения свойств путем внесения различных добавок в состав. Опилкобетон появился в СССР в 60-е годы, но так и не нашел особой популярности из-за развития крупноблочного строительства. Сегодня данный материал обращает на себя внимание из-за своей эколо-

гичности и высоких теплотехнических характеристик в совокупности с высокими прочностными характеристиками.

В качестве добавок в состав нами были подобраны ускоритель твердения, пластификатор и различные варианты фиброволокон для создания пространственного армирования в структуре композита. Были рассмотрены стеклофибра, базальтовая фибра, фибра из полипропилена. Также были изготовлены образцы без применения волокон для сравнительного анализа.

В качестве древесных отходов нами были использованы сосновые опилки и стружка размерами от 0,25 см до 2–3 см, толщиной 1–3 мм. Содержание опилок мелкой фракции 0,25–1 см – 70 %, больших размеров – 25 %, 5 % – щепа. Сырье проходило предварительную подготовку путем вымачивания опилок в 1,5 % растворе извести в течение 4 суток. Данная процедура позволяет удалить сахара и другие органические вещества из сырья для улучшения его свойств.

После 4 суток вымачивания изготавливались образцы для испытаний на сжатие и изгиб по ГОСТ 22690-2015 [3]. Состав подбирался идентичный для всех вариантов образцов, различия возникали лишь в вариациях внесения различных волокон. Состав исходного материала (опилкобетона) брался по классу по прочности на сжатие В1,5 (2,05 МПа). Основой смеси является подготовленное сырье отходов лесной промышленности. Его доля в составе композита в расчете на 1 м³ по массе составляет 31 %, доля песка фракции 0,25 равна 52 %, доля цемента – 17 %. Водоцементное соотношение было принято равным 0,5. В состав всех вариантов композитов вносились суперпластификатор и ускоритель твердения (рис.). Необходимое количество добавок бралось согласно указаниям производителя.

Смесь изготавливалась в следующей последовательности – в бетоносмеситель насухо загружались опилки с песком, а после них фибра для равномерного распределения в составе композита. Затем вносилась половина потребного количества воды с добавками, цемент и оставшаяся доля воды. Количество потребной фибры также бралось согласно указаниям производителя и составило в расчете на 1 м³: базальтовой фибры – 2,067 кг, полипропиленовой фибры – 1,48 кг, стекловолоконной фибры – 2,067 кг. Как можно увидеть, наиболее экономичный вариант – полипропиленовая фибра.

После приготовления смеси производилось заполнение форм. Материал в формах также подвергался уплотнению для получения равномерной структуры, без значительных включений воздуха. По истечению 28 суток твердения образцов производились испытания образцов на прочность на сжатие и изгиб.

Предлагается сравнить плотность и прочность полученных композитов с применением наиболее популярных на рынке вариантов фиброволокон (табл. 1–2).

Сравнение плотности образцов

Параметр	Опилкобетон В1,5 – без фибры	Опилкобетон – полипропиленовая фибра	Опилкобетон – базальтовая фибра	Опилкобетон – стеклофибра
Плотность, кг/м ³	950	1010	986	932

Таблица 2

Сравнение прочности образцов на сжатие и изгиб

Параметр	Опилкобетон В1,5 – без фибры	Опилкобетон – полипропиленовая фибра	Опилкобетон – базальтовая фибра	Опилкобетон – стеклофибра
Предел прочности на сжатие, МПа	1,15	2,19	1,86	1,52
Предел прочности на изгиб, МПа	0,42	1,1	0,9	0,9

Подводя итоги данного этапа исследования, стоит отметить, что опилкобетон заявленного класса не был получен. Однако результаты сравнительного анализа образцов все-таки можно считать достоверными. Так, образцы без добавления фибры обладали в среднем на 30–50 % более низкой прочностью, чем образцы с фиброй. Анализируя примененные добавки, стоит отметить интересный результат, полученный с полипропиленовой фиброй. Рост прочности на сжатие составил почти 100 %, в сравнении с 30 и 50 % у базальтовой и стеклофиброй. Полученный при добавлении именно полипропиленовой фибры материал хорошо сопротивлялся разрушению и хорошо воспринимал деформацию. Это объяснимо свойствами полипропиленовой фибры – она более пластична, но при этом обладает высоким сцеплением в композите.

В ходе исследовательской работы была доказана эффективность введения в состав опилкобетона пространственно-армирующих добавок, проведен сравнительный анализ результатов различных вариаций

волокон, определивший, что полипропиленовое фиброволокно дает наибольший прирост прочности опилкобетона.

Литература

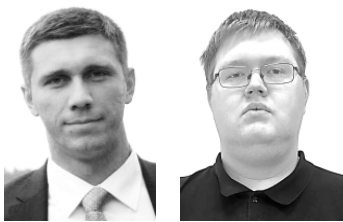
- Макаридзе, Г. Д. Применение современных строительных материалов – опилкобетон: функциональные свойства и технология производства / Г. Д. Макаридзе, Л. Г. Ворона-Сливинская // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 10. – С. 249–254.
- Куннос, Г. Я. Опилкобетон / Академия наук Латвийской ССР. Институт строительства и архитектуры. – Рига : Издательство Академии наук Латвийской ССР, 1960. – 27 с.
- ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля : введен 2016-04-01. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

T.A. Polyakov, N.A. Poluektova, O.A. Povarova
Cherepovets State University

RESEARCH OF EFFECT OF ADDING SPATIALLY REINFORCING ADDITIVES TO SAWDUST CONCRETE COMPOSITION

This article shows the impact of adding various spatial reinforcing additives to the composition of a construction composite based on forest industry waste (sawdust concrete), a comparative analysis of the results of the test of samples obtained with the use of such components and without their adding, and also provides an overview of existing options for fibers.

Fiber, sawdust concrete, forest industry waste, composites.



А.А. Синицын, А.А. Подольский
 Вологодский государственный университет

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НАРУЖНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОвого НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

В статье представлены результаты приборного энергообследования с применением тепловизионного контроля наружных строительных ограждений общественного здания ООО «Теплотроника».

Неразрушающий контроль, приборное обследование, сопротивление теплопередаче, тепловые потери.

Комплексное теплотехническое обследование наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений с применением тепловизионной техники проводится с целью выявления температурных аномалий на обследуемых конструкциях [1].

Метод основан на дистанционном измерении тепловизором полей температур поверхностей ограждающих конструкций, между внутренними и наружными поверхностями которых создан перепад температур, и вычислении относительных сопротивлений теплопередаче участков конструкции.

Методики теплового неразрушающего контроля апробованы в работах [1–2] коллектива НОЦ «Проблемы современной техносреды» ВоГУ и отражены в практических примерах описания патента на изобретение [3].

Ранее проведенные исследования в работах [4–5] позволяют говорить об эффективности предложенного метода.

Объект исследования – здание ООО «Теплотроника», расположенное по адресу: Вологодская область, г. Вологда, ул. Герцена 56 (рис. 1).

В соответствии со СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» данный регион характеризуется сле-

дующими параметрами: средняя температура наружного воздуха отопительного периода: $-4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, продолжительность отопительного периода: 231 сут.

Условия проведения тепловизионного обследования: дата проведения обследования – 17 ноября 2021 года; средняя температура внутри здания – $+18..+20\text{ }^{\circ}\text{C}$; температура наружного воздуха – $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, погодные условия соответствовали проведению тепловизионного обследования в соответствии с МДС 23-1.2007 «Методические рекомендации по комплексному теплотехническому обследованию наружных ограждающих конструкций с применением тепловизионной техники».

Визуализация тепловых полей и измерение температуры при тепловизионном обследовании наружных ограждающих конструкций выполнялось с применением инструментального оснащения НОЦ «Проблемы современной техносреды» на базе кафедры теплогазоснабжения ВоГУ.

Перед началом тепловизионной съемки были произведены замеры температуры поверхности на контролируемом объекте контактным методом.



Рис. 1. Общий вид объекта тепловизионного обследования и схема его местоположения



Рис. 2. Фотография наружной стены здания и ее термограмма.

Информация о съемке (рис. 2): дата – 16.11.21; время – 10:50; отраж. темп. [°C] – 4,6.

На термограмме выявлены теплопотери по глади ограждающих конструкций на реперном участке измерений.

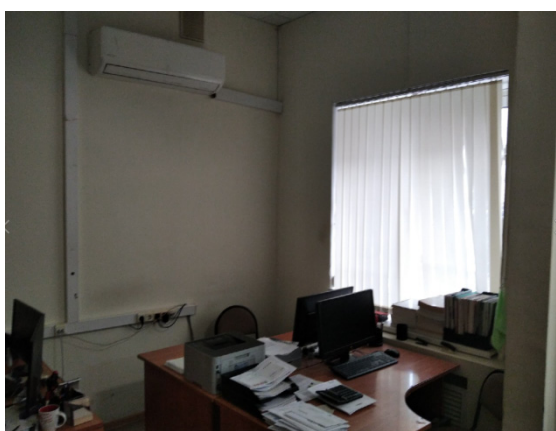


Рис. 3. Фотография одного из внутренних пространств здания и его термограмма.

Информация о съемке (рис. 3): дата – 16.11.21; время – 10:40; отраж. темп. [°C] – 16,1.

На термограмме зарегистрированы зоны промерзаний основания конструктива на реперном участке измерений, преимущественно, по левому сопряжению ограждающих конструкций.

Обследование наружных ограждающих конструкций (далее – НОК) проводилось в дневное время. В процессе измерений обследуемые поверхности не были подвержены воздействиям прямого и отраженного солнечного облучения.

Термографирование проводилось последовательно по предварительно намеченным участкам с покадровой записью термограмм и одновременной фотосъемкой этих участков.

Поверхность объекта: многослойная сэндвич-панель (трехслойная, из жесткого металла изнутри и снаружи, внутри устройство минерально-ватной теплоизоляции).

Состояние атмосферы: переменная облачность, без осадков.

Описание приборной базы: термогигрометр Testo 625, пирометр Testo 845, мобильный тепловизор SeekThermalPro.

Фрагменты результатов измерений представлены на рисунках 2, 3 на соответствующих термографических изображениях.

Температурное поле на поверхности диагностируемых поверхностей (ограждающих конструкций) внутри обследуемых помещений достаточно равно-

мерное. Средний температурный показатель по глади несущих ограждающих конструкций составил порядка 18,5 °C с учетом температуры внутри помещений 23,0 °C и учетом специфики обогрева объекта обследования на момент проведения контроля. Согласно данным значениям, температурные показатели имеют допустимые значения по СНиП 23-02-2003 п. 5.8 с учетом природных погодных условий на момент проведения обследования.

Однако были определены и зарегистрированы конструктивные тепловые аномалии в виде локальных участков промерзаний основания конструктива, в частности по угловым сопряжениям строительных ограждений. Также были определены локальные инфильтрации наружного воздуха через устройства дверных и оконных блоков, преимущественно по уплотнительной системе, перекосу полотен и некачественной регулировке фурнитуры.

Температурное поле на поверхности наружных диагностируемых поверхностей снаружи достаточно равномерное. Средний температурный показатель по глади ограждающих конструкций на момент проведения обследования составил порядка 4,5 °C, что соот-

ветствует допустимым значениям согласно (СНиП 23-02-2003 п. 5.8).

Учитывая тот факт, что внутренние помещения обогревались принудительными элементами отопления, были определены и зарегистрированы следующие тепловые аномалии, не соответствующие нормируемым значениям: теплопотери через устройство цоколя, нарушение теплового поля на поверхности отдельных несущих конструкций, теплопотери через монтажные швы устройств оконных блоков.

Работа выполнена в соответствии с деятельностью молодежной исследовательской лаборатории Smart Nanomaterials for Energy Efficiency (Умные наноматериалы для повышения энергоэффективности), созданной по итогам отбора на реализацию государственного задания Минобрнауки РФ по созданию молодежных лабораторий в рамках нацпроекта «Наука и университеты».

Литература

1. Сеницын, А. А. Основы тепловизионной диагностики теплотребляющих объектов строительства : учебное пособие / А. А. Сеницын, Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Вологда : ВоГУ, 2014. – 160 с.

2. Карпов, Д. Ф. Комплексная энергосберегающая диагностика технического состояния ограждающих конструкций объектов капитального строительства и инженерных систем на основе теплового контроля /

Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Сеницын // Энергосбережение и водоподготовка. – 2020. – № 2 (124). – С. 29–33.

3. Патент № 2530473 С1 Российская Федерация, МПК G01N 25/18. Устройство и способ комплексного определения основных теплофизических свойств твердого тела : № 2013119005/28 : заявл. 23.04.2013 : опубл. 10.10.2014 / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Сеницын [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вологодский государственный университет» (ВоГУ).

4. Некоторые особенности и результаты теплового контроля навесных вентилируемых фасадных систем объектов капитального строительства / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Сеницын [и др.]. – DOI 10.21822/2073-6185-2020-47-1-147-155 // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2020. – Т. 47. – № 1. – С. 147–155.

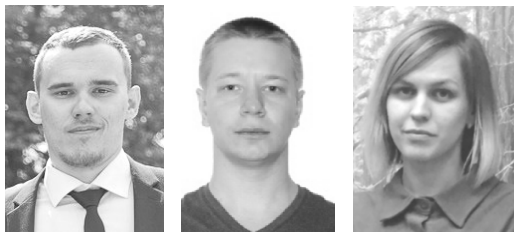
5. Карпов, Д. Ф. Определения термодинамических свойств ограждающих конструкций методом теплового нагружения / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов // Материалы II ежегодных смотров-сессий аспирантов и молодых ученых по отраслям наук : в 2 томах. – Вологда : Вологодский государственный технический университет, 2008. – С. 210–218.

*A.A. Sinitsyn, A.A. Podolskiy
Vologda State University*

QUALITY ASSESSMENT OF EXTERNAL CONSTRUCTION FENCES WITH THE USE OF THERMAL NON-DESTRUCTIVE TESTING OF PUBLIC BUILDING

The article presents the results of an instrument energy survey using thermal imaging control of external construction fences of a public building of Teplotronika LLC.

Non-destructive testing, instrument inspection, heat transfer resistance, heat loss.



АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПРИ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

В статье представлен новый подход к анализу надежности стальных плоских ферм, основанный на использовании информации о границах изменчивости случайных величин для их моделирования. Использование ряда необоснованных гипотез (о виде распределения, значениях параметров закона распределения и т.д.) может привести к ошибочным выводам. В исследовании предлагается базироваться только на интервальных оценках границ изменчивости случайных величин. Приведен численный пример анализа надежности стержня фермы. В сравнении с классическим подходом при предположении нормального распределения, результат расчета надежности оказывается ниже, что формирует некоторый запас надежности. Использование граничных значений областей изменчивости случайных величин позволяет оценить надежность элементов стальных ферм без предположений о виде и форме распределения вероятностей. Аналогично может быть решена обратная задача, например оценка допусков площади поперечного сечения стержней при производстве, исходя из требований заданной надежности (вероятности безотказной работы).

Надежность, вероятность отказа, интервальная оценка, теория выпуклых множеств, ферма, вероятностное проектирование.

Надежность является одним из главных показателей качества и безопасности эксплуатации несущих элементов строительных конструкций. Надежность в совокупности с фактором экономических и неэкономических потерь являются базовыми параметрами для оценки риска, что позволяет выполнять требования Федерального Закона №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» в области обеспечения механической безопасности. Как отмечено в стандарте Eurocode 0 «Basis of Structural Design», надежность обычно выражается в вероятностных терминах.

Используемый в данное время метод предельных состояний подвергается критике. Профессор В.Д. Райзер отмечает, что «существующие методы проектирования не позволяют оценивать надежность конструкций, и тем более проектировать их с заданным уровнем надежности» [1]. В исследовании [2] также подчеркнуто, что «в существующем виде детерминированный метод предельных состояний не дает четкого ответа о надежности конструкций, не позволяет проектировать их с заданным уровнем надежности и оценить качество проектного решения по этому критерию. Недостатком этого метода является также то, что он оперирует расчетными (определенными) параметрами, в то время как они зачастую являются случайными величинами с разными характеристиками изменчивости, сопоставлять которые, например, в статических условиях равновесия можно только с определенной степенью приближения.

В стандарте Eurocode 0 «Basis of Structural Design» предложена методика вероятностного расчета надежности, основанная на использовании методов теории вероятностей и математической статистики. Высказывается мысль о разумности оценки различного рода неопределенностей с помощью интервалов.

В актуальном исследовании [3] отмечается, что в практических инженерных задачах неизбежно существуют неопределенности в конструкционных нагрузках и воздействиях, характеристиках материалов, погрешностях измерений и монтажа и т.д. До сих пор вероятностная модель как наиболее значимый инструмент широко применялась в инженерных задачах для количественной оценки неопределенностей структурных параметров. Вероятностная модель требует достаточного количества выборочных данных для получения точного распределения вероятностей [4]. Однако из-за экономических и технологических ограничений, данное требование трудно выполнить в комплексных инженерных задачах [5]. В качестве альтернативы неклассический метод безвероятностного выпуклого моделирования (convex sets) может оценивать границы неопределенных параметров с ограниченными выборочными статистическими данными. Данный метод получил широкое распространение в последние годы.

В [6] также отмечено, что «во многих случаях при использовании вероятностной модели для анализа практических проблем неопределенности приходится делать предположения о распределении вероятностей для параметров. Однако были исследо-

вания, указывающие на то, что даже небольшое отклонение параметров распределения от реальных значений, вероятно, приведет к очень большой ошибке анализа надежности. С другой стороны, благодаря обширной инженерной практике было установлено, что хотя очень трудно получить точные распределения вероятностей неопределенных параметров, когда выборки недостаточны или низкого качества, как правило, нетрудно получить интервалы их изменения на основе ограниченных данных и нашего инженерного опыта. Например, при анализе обработки листового металла трудно получить распределение вероятности коэффициента трения между пресс-формой и листом из-за сложности смазочной среды; однако, основываясь на имеющемся опыте, мы знаем, что такой коэффициент трения лежит в интервале 0,1–0,2». Аналогичная проблема рассматривается и в исследовании [7].

Целью данного исследования является разработка метода анализа надежности элементов стальных ферм при интервальной оценке случайных величин.

Рассмотрим подход к оценке надежности фермы на примере фермы с расчетной схемой по рисунку 1.

Используя известные подходы строительной механики, можно получить следующие выражения усилий в стержнях фермы (табл.).

Из таблицы видно, что любое усилие \tilde{N}_{i-j} может быть выражено в общем виде как:

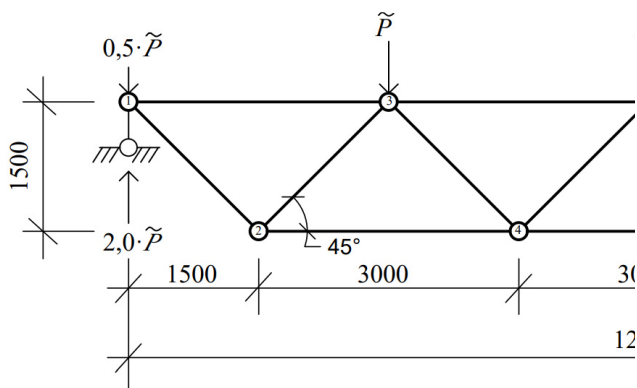


Рис. 1. Расчетная схема фермы со случайной нагрузкой \tilde{P}

Таблица
Усилия в стержнях фермы по рисунку 1

Стержни	Усилие в стержне	Стержни	Усилие в стержне
1-2, 8-9	$\tilde{N}_{1-2} = + \frac{3 \cdot \tilde{P}}{\sqrt{2}}$	3-4, 6-7	$\tilde{N}_{3-4} = + \frac{\tilde{P}}{\sqrt{2}}$

$$g(\tilde{P}, \tilde{\sigma}_{i-j,s,ult}, \tilde{A}_{i-j}) = \tilde{N}_{i-j}(\tilde{P}) - \tilde{\sigma}_{i-j,s,ult} \cdot \tilde{A}_{i-j} \leq 0,$$

$$\tilde{N}_{i-j}(\tilde{P}) = \tilde{P} \cdot \delta,$$

где δ – коэффициент, зависящий от геометрических размеров и формы фермы.

С учетом вышеизложенного, для любого стержня фермы можно составить математическую модель предельного состояния вида:

$$\tilde{N}_{i-j}(\tilde{P}) \leq \tilde{N}_{i-j,ult}, \quad (1)$$

где $\tilde{N}_{i-j,ult}$ – предельное продольное усилие для стержня фермы $i-j$.

Предельное усилие для $i-j$ элемента фермы может быть определено по различным критериям предельных состояний.

Например, по условию прочности стали стержня фермы:

$$\tilde{N}_{i-j}(\tilde{P}) \leq \tilde{N}_{i-j,ult} = \tilde{\sigma}_{s,ult} \cdot A, \quad (2)$$

где A – площадь поперечного сечения стержня фермы; $\tilde{\sigma}_{s,ult}$ – предельное напряжение в стали стержня фермы (случайная величина).

Из условия устойчивости $i-j$ стержня фермы:

$$\tilde{N}_{i-j}(\tilde{P}) \leq \tilde{N}_{i-j,ult} = \tilde{\sigma}_{s,ult} \cdot A \cdot \tilde{\varphi}(\tilde{\sigma}_{s,ult}), \quad (3)$$

где $\tilde{\varphi}$ – коэффициент продольной устойчивости.

1-3, 7-9	$\tilde{N}_{1-3} = -1,5 \cdot \tilde{P}$	3-5, 5-7	$\tilde{N}_{3-5} = -3,5 \cdot \tilde{P}$
2-3, 7-8	$\tilde{N}_{2-3} = - \frac{3 \cdot \tilde{P}}{\sqrt{2}}$	4-5, 5-6	$\tilde{N}_{4-5} = - \frac{\tilde{P}}{\sqrt{2}}$
2-4, 6-8	$\tilde{N}_{2-4} = +3 \cdot \tilde{P}$	4-6	$\tilde{N}_{4-6} = +4 \cdot \tilde{P}$

Площадь поперечного сечения стержня фермы A принята детерминированной (постоянной) величиной, т.к. в задачах оценки надежности эксплуатируемых ферм можно многократно и с высокой точностью измерить данную характеристику. При оценке надежности ферм на стадии проектирования, площадь поперечного сечения стержней фермы может быть принята в виде случайной величины, т.к. металлопрокат имеет различный коэффициент вариации (в зависимости от завода-производителя, стандарта и типа сечения), что не позволяет заранее дать точную оценку площади поперечного сечения стержней.

Выражения (2) и (3) могут быть записаны в классической форме функции предельного состояния:

$$g(\tilde{P}, \tilde{\sigma}_{i-j,s,ult}, \tilde{A}_{i-j}) = \tilde{N}_{i-j}(\tilde{P}) - \tilde{\sigma}_{i-j,s,ult} \cdot \tilde{A}_{i-j} \cdot \tilde{\varphi}(\tilde{\sigma}_{i-j,s,ult}) \leq 0$$

Как было отмечено выше, многие случайные величины целесообразно представлять в виде интервала возможных значений.

Пусть функция $g(\tilde{x}_i)$ сформирована случайными величинами, значения которых представлены напрямую интервальной оценкой. Следовательно, случайная величина \tilde{x}_i характеризуется некоторым интервалом значений $\tilde{x} \in x^I = [\underline{x}; \bar{x}]$, где \underline{x} и \bar{x} – нижняя и верхняя граница интервала соответственно. Для данного интервала (как характеристики случайной величины) могут быть введены два параметра [8]: центр $x^c = \frac{\underline{x} + \bar{x}}{2}$ и радиус $x^r = \frac{\bar{x} - \underline{x}}{2}$.

Интервальную случайную величину можно представить в виде $x^I = x^c + x^r \Delta^I$, где Δ^I – интервал $\Delta^I = [-1; 1]$.

Для двух случайных интервальных величин x^I и y^I характерны следующие математические зависимости [8]:

$$\begin{aligned} x^I + y^I &= [\underline{x}; \bar{x}] + [\underline{y}; \bar{y}] = [\underline{x} + \underline{y}; \bar{x} + \bar{y}], \\ x^I - y^I &= [\underline{x}; \bar{x}] - [\underline{y}; \bar{y}] = [\underline{x} - \bar{y}; \bar{x} - \underline{y}], \\ x^I \cdot y^I &= [\underline{x}; \bar{x}] \cdot [\underline{y}; \bar{y}] = \left[\begin{array}{l} \min\{\underline{x} \cdot \underline{y}; \underline{x} \cdot \bar{y}; \bar{x} \cdot \underline{y}; \bar{x} \cdot \bar{y}\} \\ \max\{\underline{x} \cdot \underline{y}; \underline{x} \cdot \bar{y}; \bar{x} \cdot \underline{y}; \bar{x} \cdot \bar{y}\} \end{array} \right], \\ x^I / y^I &= [\underline{x}; \bar{x}] / [\underline{y}; \bar{y}] = [\underline{x}; \bar{x}] \cdot [1/\bar{y}; 1/\underline{y}]. \end{aligned}$$

Рассмотрим пример. Пусть для расчета надежности получена следующая информация относительно стержня 4–6 (рис. 1):

$$\tilde{N}_{4-6} \in [150; 170] \text{ кН},$$

$$\tilde{\sigma}_{4-6,s,ult} \in [240; 260] \text{ МПа},$$

$$\tilde{A}_{4-6} \in [7,0; 7,5] \text{ м}^2.$$

Требуется оценить надежность элемента 4–6 фермы по критерию прочности.

На рисунке 2 представлен параллелепипед, сформированный границами изменчивости случайных величин. Для дальнейшего расчета необходимо определить точки на параллелепипеде, которые формируют треугольную пирамиду, отсекаемую функцией предельного состояния:

$$\begin{aligned} g(\tilde{P}, \tilde{\sigma}_{4-6,s,ult}, \tilde{A}_{i-j}) &= \\ &= \tilde{N}_{4-6}(\tilde{P}) - \tilde{\sigma}_{4-6,s,ult} \cdot \tilde{A}_{4-6} = 0. \end{aligned}$$

Последовательно решая три уравнения, можно определить координаты данных точек (рис. 2).

Объем отсекаемой пирамиды равен (без указания единиц измерения):

$$\begin{aligned} V_f &= \frac{1}{3} S_{осн} h = \\ &= \frac{1}{3} \frac{1}{2} [(243 - 240)(7,08 - 7,00)][170 - 168] = 0,08. \end{aligned}$$

Объем параллелепипеда равен (без указания единиц измерения):

$$V = \Delta A_{4-6} \cdot \Delta N_{4-6} \cdot \Delta \sigma_{4-6,s,ult} \rightarrow 0,5 \cdot 20 \cdot 20 = 200.$$

В соответствии с [8], надежность стержня вычисляется как:

$$P = 1 - P_f = 1 - \frac{V_f}{V} = 1 - \frac{0,08}{200} = 0,99960.$$

Предположим, что была получена дополнительная информация о случайных величинах – подтвержден закон нормального распределения вероятностей. Параметры случайных величин зададим с приближенным учетом «правила трех сигм» в виде: $m_N = 160$ кН, $S_N = 4$ кН, $m_\sigma = 250$ МПа, $S_\sigma = 4$ МПа, $m_A = 7,25 \cdot 10^{-4}$ м², $m_A = 7,09 \cdot 10^{-4}$ м², где m_x – математическое ожидание случайной величины x ; S_x – среднее квадратическое отклонение случайной величины x .

В этом случае для расчета можно воспользоваться классическим вероятностным подходом FOSM (First Order Second Moment). Математическое ожидание функции предельного состояния m_g можно записать в виде:

$$m_g = m_R m_A - m_N.$$

Среднее квадратическое отклонение функции предельного состояния можно найти с учетом линеаризации функции g в виде:

$$S_g = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial R} \right)_{m_A}^2 S_R^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial N} \right)^2 S_N^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial A} \right)_{m_R}^2 S_A^2}.$$

Подставим вышеуказанные данные, получим $m_g = 21,25$ кН, $S_g = 5,43$ кН. Индекс надежности

составит: $\beta = \frac{m_g}{S_g} \rightarrow 3,91$. Тогда при нормальном

распределении вероятность безотказной работы будет $P=0,99994$.

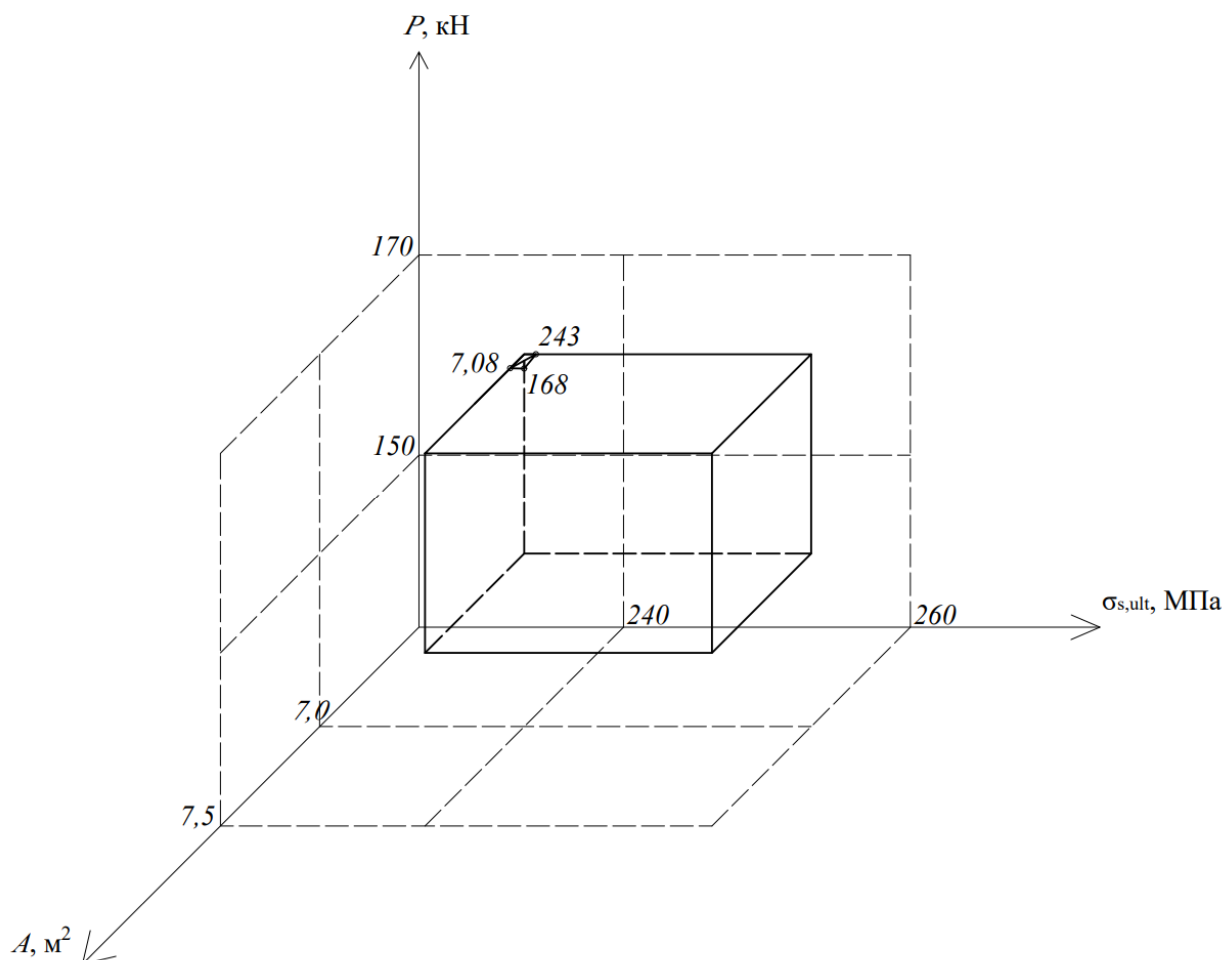


Рис. 2. Модель параллелепипеда, сформированная границами изменчивости случайных величин в математической модели предельного состояния стержня фермы

Результат расчета надежности по методу FOSM оказался выше. Это связано с предположением или доказательством конкретного распределения вероятностей случайных величин. Однако на практике зачастую не удается получить полную статистическую информацию для обоснования закона распределения случайной величины. К тому же в случае совокупности различных распределений для случайной нагрузки на ферму может быть затруднителен подбор общей вероятностной модели нагрузки как случайной величины.

Использование граничных значений случайных величин позволяет оценить надежность без предположений о виде и форме распределения вероятностей. Аналогично может быть решена обратная задача – оценка допусков площади поперечного сечения стержней при производстве, исходя из требований заданной надежности (вероятности безотказной работы).

Литература

1. Райзер, В. Д. Теория надежности сооружений / В. Д. Райзер. – Москва : АСВ, 2010. – 384 с.
2. Краснощеков, Ю. В. Вероятностное проектирование конструкций по заданному уровню надежности / Ю. В. Краснощеков, М. Ю. Заполева // Вестник СибБАДИ. – 2015. – № 1 (41). – С. 68–73.
3. Non-probabilistic polygonal Convex Set Model for Structural Uncertainty Quantification / L. Cao, J. Liu,

L. Xie [et al.] // Applied Mathematical Modelling. – 2021. – Vol. 89. – P. 504–518.

4. A General Frame for Uncertainty Propagation under Multimodally Distributed Random Variables / X. Meng, J. Liu, L. Cao [et al.] // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 2020. – Vol. 367. – P. 113109.

5. Evidence-based Structural Uncertainty Quantification by dimension Reduction Decomposition and Marginal Interval Analysis / L. Cao, J. Liu, C. Jiang [et al.] // Journal of Mechanical Design. – 2020. – Vol. 142 (5). – P. 051701.

6. Jiang, C. Probability-interval Hybrid Uncertainty Analysis for Structures with Both Aleatory and Epistemic Uncertainties: a Review / C. Jiang, J. Zheng, X. Han // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2018. – Vol. 57, No. 6. – P. 2485–2502.

7. Structural Reliability Analysis Based on Fuzzy Random Uncertainty / L. You, J. Zhang, Q. Li, N. Ye // Eksploatacja i Niezawodność. – 2019. – Vol. 21 (4). – P. 599–609.

8. A Non-Probabilistic Set Model of Structural Reliability Based on Satisfaction Degree of Interval / H. Z. Huang, Z. L. Wang, Y. F. Li [et al.] // Mechanika. – 2011. – Vol. 17 (1). – P. 85–92.

S.A. Solovyov, A.E. Inkov, A.A. Solovyova
Vologda State University

**STEEL TRUSSES ELEMENTS RELIABILITY ANALYSIS BASED
ON RANDOM VARIABLES INTERVAL ESTIMATION**

The article presents a new approach to reliability analysis of planar steel trusses based on the information about the limits of variability of random variables. The use of a number of unsubstantiated hypotheses (about the type of distribution, the values of the parameters of the distribution, etc.) can lead to erroneous conclusions and mistakes. In the research, it is proposed to base only on interval estimates of the limits of variability of random variables. A numerical example of the truss bar's reliability analysis is given. In comparison with the classical approach (FOSM), assuming a normal distribution, the result of the reliability analysis turns out to be lower, which forms a certain margin of the reliability. The use of boundary values of the fields of variability of random variables makes it possible to assess the reliability of elements of steel trusses without assumptions about the form and shape of the probability distribution. Similarly, the inverse problem can be solved, for example, estimating the tolerances of the cross-sectional area of the bars during production, based on the requirements of a given reliability (failure probability).

Reliability, failure probability, interval estimation, convex sets, truss, probabilistic design.



УТОЧНЕНИЕ МОДЕЛИ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ НЕПОЛНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Исследование выполнено в рамках реализации государственного научного гранта Вологодской области (Договор № 19 от 10.12.2021) по теме «Исследование и разработка методов стохастической оценки безопасности эксплуатации пролетных конструкций зданий и инженерных сооружений в условиях ограниченной статистической информации»

В статье предложен новый тип р-блока как модели случайной величины для описания случайных величин в задачах анализа надежности строительных конструкций при неполной статистической информации. Р-блок представляет собой две граничные функции распределения вероятностей, которые создают область, внутри которой располагается действительное распределение, но неизвестное вследствие эпистемологической неопределенности. Эффективная комбинация граничных функций на основе неравенства Чебышева и значений статистики Колмогорова – Смирнова позволяет редуцировать эпистемологическую неопределенность модели случайной величины при неполной статистической информации. Использование предложенной модели в практических задачах анализа надежности строительных конструкций позволит сократить размах интервала оценки вероятности отказа или вероятности безотказной работы, тем самым повысив информативность ответа. Преимуществом модели является отсутствие необходимости подтверждения гипотезы о виде распределения случайной величины, т.к. для построения модели необходима информация лишь о первых двух моментах случайной величины в формате доверительных интервалов.

Надежность, р-блок, вероятность отказа, статистика Колмогорова – Смирнова, интервальная оценка, неравенство Чебышева.

Надежность является одним из главных показателей качества и безопасности эксплуатации несущих элементов строительных конструкций. Надежность в совокупности с фактором экономических и неэкономических потерь являются базовыми параметрами для оценки риска, что позволяет выполнять требования Федерального Закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» в области обеспечения механической безопасности. Как отмечено в стандарте Eurocode 0 «Basis of Structural Design», надежность обычно выражается в вероятностных терминах.

Задача оценки надежности элементов строительных конструкций на практике усложняется тем, что приходится иметь дело с ограниченной статистической информацией. Например, невозможно отобрать несколько десятков контрольных образцов для испытаний из индивидуального строительного элемента для оценки физико-механических свойств, т.к. это внесет серьезные структурные повреждения. Или же может быть экономически нецелесообразное проведение дорогостоящих испытаний для получения большого объема выборочной совокупности данных. В данных задачах необходимо или использовать гипотезы о виде и форме распределения вероятностей случайной величины, или использовать модели случайных величин, учитывающие эпистемологическую

неопределенность, т.е. такую, которая основана на недостатке знаний об объекте.

Первый вариант может быть опасен, т.к. совокупность принятых гипотез может привести к неверным результатам анализа надежности. В связи с этим в настоящее время зачастую используются новые модели случайных величин, учитывающие эпистемологическую неопределенность. Одной из самых известных моделей является р-блок.

Р-блок (p-box, probability box) [1–5] представляет собой две граничные функции распределения вероятностей $\overline{F}_X(x)$ и $\underline{F}_X(x)$, которые создают область, внутри которой располагается действительное распределение, но неизвестное вследствие эпистемологической неопределенности. Данные модели базируются на актуальных теориях обработки информации: теории возможностей, теории нечетких множеств, теории свидетельств Демпстера – Шефера, Байесовского подхода и др. Данные подходы к описанию изменчивости случайных величин могут найти отражение в различных задачах строительной отрасли: от оценки механической безопасности до анализа физики среды помещений и энергоэффективности [6–10].

Преимуществом использования р-блоков как моделей случайных величин является отсутствие необходимости в получении полной статистической информации о случайной величине. В исследовании

[11] отмечается, что в практических задачах анализа риска любую случайную величину можно ограничить некоторым интервалом. Все моменты любого ограниченного распределения конечны и, следовательно, существуют в математическом смысле. Следовательно, для таких статистических данных можно принять оценку (точную или интервальную) математического ожидания и среднеквадратического отклонения. Этой информации уже может быть достаточно для построения модели случайной величины в виде р-блока. Более того, при большом значении нижней границы интервала вероятности безотказной работы будет отсутствовать необходимость уточнять законы распределения случайной величины и значения параметров этих законов.

Так, при наличии статистических данных о случайной величине в виде ее математического ожидания и среднеквадратического отклонения можно построить р-блок на основе неравенств П.Л. Чебышева [12]:

$$\underline{F}_X(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < m_X + S_X \\ 1 - \frac{S_X^2}{(x - m_X)^2}, & \text{если } x \geq m_X + S_X \end{cases}, (1)$$

$$\bar{F}_X(x) = \begin{cases} \frac{S_X^2}{(x - m_X)^2}, & \text{если } x < m_X - S_X \\ 1, & \text{если } x \geq m_X - S_X \end{cases}. (2)$$

В исследовании [13] предложены уточненные граничные функции распределения с аналитическим видом:

$$\bar{F}_X(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq m_X + S_X^2 / (m_X - \bar{x}) \\ 1 - \left[\frac{b(1+a) - c - b^2}{a} \right], & \text{если } m_X + S_X^2 / (m_X - \bar{x}) < x < m_X + S_X^2 / (m_X - \underline{x}) \\ \frac{1}{\left[1 + S_X^2 / (x - m_X)^2 \right]}, & \text{если } m_X + S_X^2 / (m_X - \underline{x}) < x < \bar{x} \\ 1, & \text{если } x \geq \bar{x} \end{cases}, (3)$$

$$\underline{F}_X(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq \underline{x} \\ \frac{1}{\left[1 + (x - m_X)^2 / S_X^2 \right]}, & \text{если } \underline{x} < x < m_X + S_X^2 / (m_X - \bar{x}) \\ 1 - \frac{(b^2 - ab + c)}{(1-a)}, & \text{если } m_X + S_X^2 / (m_X - \bar{x}) < x < m_X + S_X^2 / (m_X - \underline{x}) \\ 1, & \text{если } x \geq m_X + S_X^2 / (m_X - \underline{x}) \end{cases}, (4)$$

где $x \in [\underline{x}, \bar{x}]$; параметры функций (3)–(4) вычисляются следующим образом: $a = (x - \underline{x}) / (\bar{x} - \underline{x})$, $b = (m_X - \underline{x}) / (\bar{x} - \underline{x})$ и $c = S_X^2 / (\bar{x} - \underline{x})^2$.

Аналогично в исследовании [14] построены граничные функции р-блока на основе неравенства Кантелли.

В [15] доказано, что при доверительной оценке параметров $m_X \in \left[\underline{m}_X; \bar{m}_X \right]$ и $S_X \in \left[\underline{S}_X; \bar{S}_X \right]$ граничные функции распределения вероятностей случайной величины следует представлять в виде: $\bar{F}_X(\bar{m}_X, \bar{S}_X, x)$ и $\underline{F}_X(\underline{m}_X, \bar{S}_X, x)$.

Рассмотрим пример. Пусть необходимо создать модель случайной величины на основе р-блока для напряжения стали, соответствующего пределу текучести. Для этого были проведены испытания 15 контрольных образцов стали.

Статистические параметры для экспериментальных данных выборочной совокупности приведены в таблице.

Таблица

Статистические характеристики выборки

Параметр	Значение, МПа
Выборочное среднее значение	325,93
Выборочное стандартное (среднеквадратическое) отклонение	5,62
Доверительный интервал для математического ожидания	[322,84; 329,03]
Доверительный интервал для стандартного отклонения	[4,19; 8,87]
Выборочная оценка медианы	327
Доверительный интервал для медианы	[320; 330]

Доверительные интервалы для математического ожидания и среднеквадратического отклонения получены на основе алгоритма Национального стандарта РФ ГОСТ Р 50779.21–2004 «Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным». Доверительный интервал для медианы вычисляется по значениям $k=4$ и $n-k+1=12$. Соответственно, $[med \underline{X} = x_{[4]} = 320; med \bar{X} = x_{[12]} = 330]$ МПа.

На рисунке 1 приведены графики граничных функций р-блоков (1)–(4) (с обозначениями $\underline{F}_X(x) = F_{low}(x)$ и $\bar{F}_X(x) = F_{up}(x)$), а также графики функций нормального распределения вероятностей с возможными комбинациями значений доверительных интервалов математического ожида-

ния и среднеквадратического отклонения с обозначением $pnorm(x, m_X, S_X)$, где $pnorm()$ – кумулятивная функция нормального распределения вероятностей.

Возможные комбинации параметров нормального распределения также образуют р-блок с аналитическим видом:

$$\underline{F}_X(x) = \begin{cases} pnorm(x, \underline{m}_X, \bar{S}_X), & \text{если } x < \underline{m}_X \\ pnorm(x, \underline{m}_X, \underline{S}_X), & \text{если } x \geq \underline{m}_X \end{cases}, \quad (5)$$

$$\bar{F}_X(x) = \begin{cases} pnorm(x, \bar{m}_X, \underline{S}_X), & \text{если } x < \bar{m}_X \\ pnorm(\bar{m}_X, \bar{S}_X), & \text{если } x \geq \bar{m}_X \end{cases}. \quad (6)$$

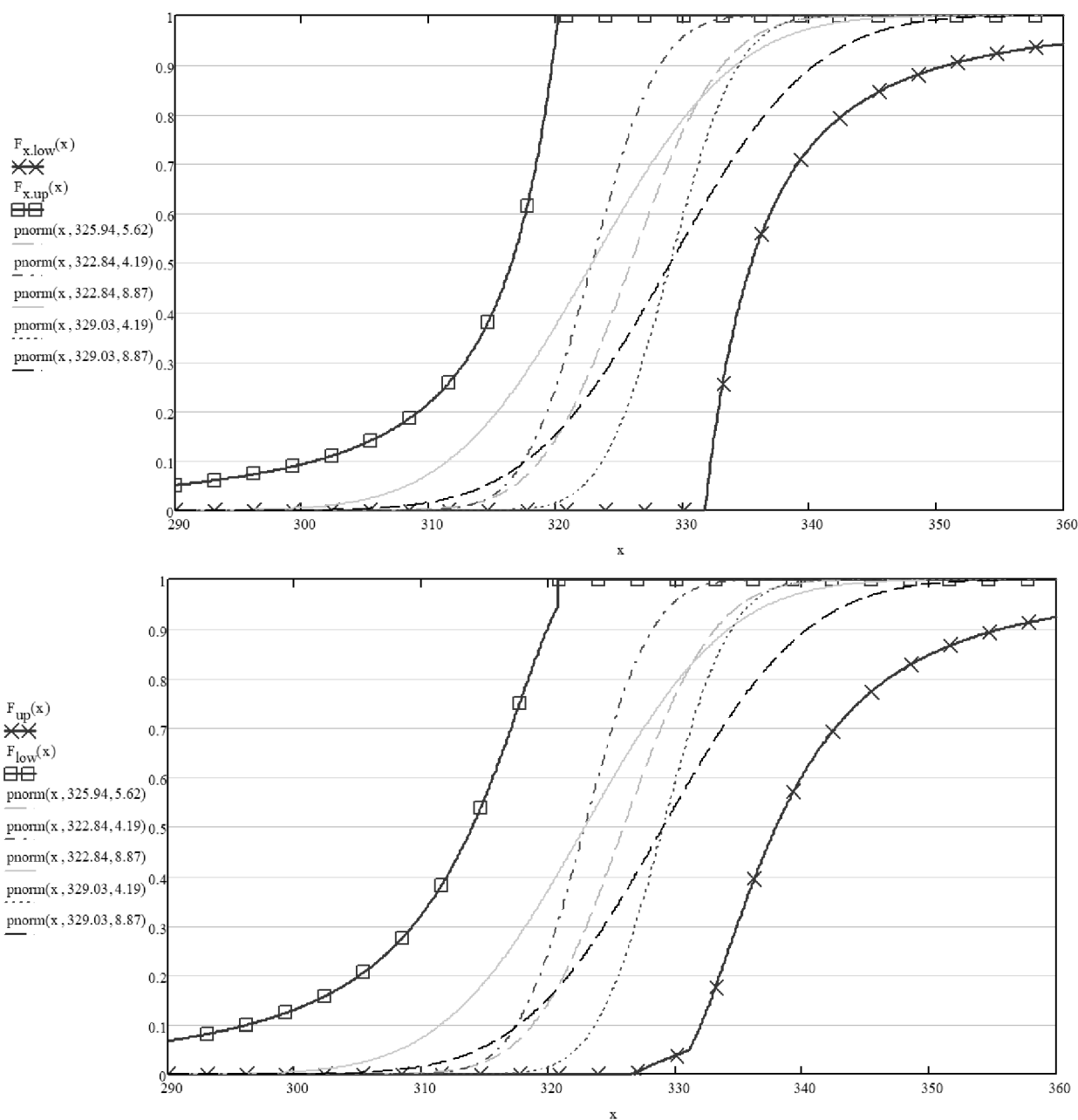


Рис. 1. Р-блок: а) с граничными функциями (1)–(2) для данных по таблице 2; б) с граничными функциями (3)–(4) для данных по таблице 2

Недостатком р-блока с граничными функциями (5)–(6) является необходимость гипотезы о подтверждении нормального распределения случайной величины, что вносит дополнительный элемент неопределенности в задачи расчета надежности строительных конструкций. Однако при объективном и достоверном подтверждении этой гипотезы, можно сократить область между граничными функциями (рис. 1), что приведет к сокращению размаха интервала надежности и повышению информативности результата расчета надежности.

В данном исследовании предлагается уточнить модели р-блоков (1)–(4) путем введения дополнительной информации о возможных границах распределения из значений статистики Колмогорова – Смирнова.

Критерий согласия Колмогорова предназначен для проверки гипотезы о принадлежности выборочной совокупности данных некоторой функции распределения вероятностей случайной величины, иными словами для проверки того, что эмпирическое распределение соответствует предполагаемой модели или функции случайной величины. Статистика критерия Колмогорова – Смирнова D_n вычисляется по формуле:

$$D_n = \sup_{x \in R} |F_{emp}(x) - F_X(x)|, \quad (7)$$

где $F_{emp}(x)$ – функция эмпирического распределения вероятностей; $F_X(x)$ – предполагаемая функция

распределения вероятностей; \sup – супремум функции $|F_{emp}(x) - F_X(x)|$.

В случае выборки малого объема ($n < 25$) критерий Колмогорова – Смирнова предпочтительней использовать с поправкой Большева в следующем виде:

$$D_n \sqrt{n} + \frac{1}{6\sqrt{n}}. \quad (8)$$

Таким образом, можно сформировать отдельный р-блок по условию статистики Колмогорова – Смирнова в виде:

$$\max(F_X(x) - D_n; 0) \leq F_X(x) \leq \min(F_X(x) + D_n; 1) \quad (9)$$

Недостатком р-блока (9) является то, что граничные функции предельного состояния всегда будут иметь детерминированные минимальные и максимальные значения после определенной точки. Данный недостаток не позволяет эффективно работать с «хвостами» распределений вероятностей.

Однако данного недостатка можно избежать, если использовать пересечение двух р-блоков (3)–(4) и (9), что позволит получить удобную модель случайной величины со снижением эпистемологической неопределенности. В центральной части р-блока используется модель на основе статистики Колмогорова – Смирнова, а хвосты р-блока описываются граничными функциями распределения на основе неравенства Чебышева. Графический вид такого р-блока для данных по таблице 1 приведен на рисунке 2.

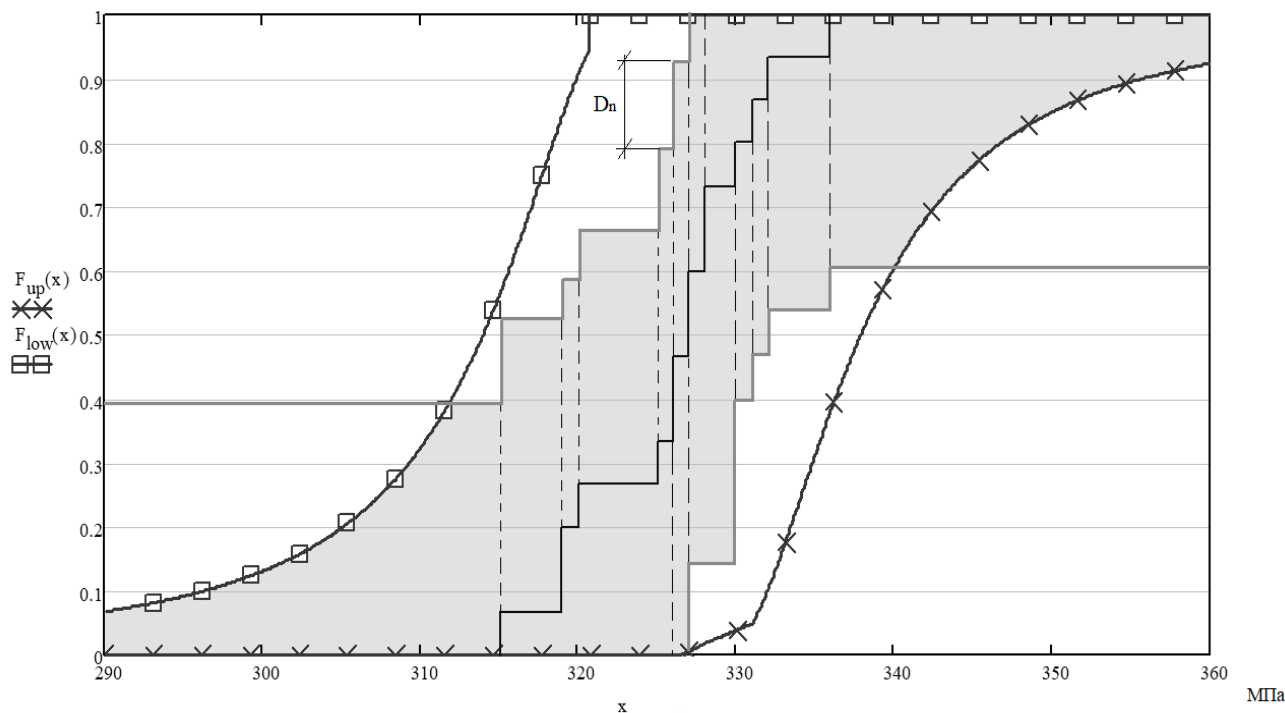


Рис. 2. Уточнение р-блока путем добавления ограничений на базе статистики Колмогорова – Смирнова

В статье предложен новый тип р-блока, который строится на базе эффективной комбинации граничных функций на основе неравенства Чебышева и значений статистики Колмогорова – Смирнова, что позволяет редуцировать эпистемологическую неопределенность модели случайной величины при неполной статистической информации. Преимуществом модели является отсутствие необходимости подтверждения гипотезы о виде распределения случайной величины, т.к. для построения модели необходима информация лишь о первых двух моментах случайной величины в формате доверительных интервалов.

Использование предложенных моделей случайных величин в задачах анализа надежности строительных конструкций позволит повысить информативность интервала надежности, выраженного в показателях вероятности безотказной работы или вероятности отказа, что улучшит возможность принятия решений в условиях неопределенности статистических данных.

Литература

1. Соловьева, А. А. Метод оценки надежности элементов плоских ферм на основе р-блоков / А. А. Соловьева, С. А. Соловьев // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16, № 2. – С. 153–167.
2. Соловьева, А. А. Исследование развития моделей случайных величин в расчетах надежности строительных конструкций при неполной статистической информации / А. А. Соловьева, С. А. Соловьев // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16, № 5. – С. 587–607.
3. Soloveva, A. A. Reliability Analysis of Rhs Steel Trusses Joints Based on the P-Boxes Approach / A. A. Soloveva, S. A. Solovev // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – Vol. 17, No 1. – P. 87–97.
4. Utkin, L. V. On Reliability Growth Models Using Kolmogorov – Smirnov Bounds / L. V. Utkin, F. P. A. Coolen // International Journal of Performability Engineering. – 2011. – Vol. 7, No. 1. – P. 5–19.
5. Zhang, H. Structural Analysis with Probability-boxes / H. Zhang, R. L. Mullen, R. L. Muhanna // International Journal of Reliability and Safety. – 2012. – Vol. 6, No. 1-3. – P. 110–129.
6. Uncertainty Propagation Analysis Using Sparse Grid Technique and Saddlepoint Approximation Based on parameterized P-Box Representation / Liu H. B., Jiang C., Liu J., & Mao J. Z. // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2019. – 59 (1). – P. 61–74.
7. Straub, D. A Probability-Box-Based Method for Propagation of Multiple Types of Epistemic Uncertainties and its Application on Composite Structural-Acoustic System / W. Zhu, N. Chen, Liu, J., & Beer, M. // Mechanical Systems and Signal Processing, 149, 107184.
8. Соловьев, С. А. Вероятностная оценка промышленной безопасности при неполной статистической информации / С. А. Соловьев // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 9. – С. 88–93.
9. Соловьев, С. А. Моделирование случайной статической нагрузки на покрытия сооружений при неполной статистической информации / С. А. Соловьев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2020. – Т. 16, № 4. – С. 243–249.
10. Некоторые особенности и результаты теплового контроля навесных вентилируемых фасадных систем объектов капитального строительства / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Сеницын [и др.] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2020. – Т. 47, № 1. – С. 147–155.
11. Ferson, S. Distribution-free Uncertainty Propagation / Ferson S., Gray A. // Proceedings of the 9th International Workshop on Reliable Engineering Computing REC'2021 (Taormina, 16–20 May 2021). – Taormina, 2021. – P. 395–407.
12. Oberguggenberger, M. Reliability Bounds Through Random Sets: Non-parametric Methods and Geotechnical Applications / Oberguggenberger M., Fellin W. // Computers & Structures. – 2008. – Vol. 86, No. 10. – P. 1093–1101.
13. Structural Reliability Analysis on the Basis of Small Samples: An Interval Quasi-Monte Carlo Method / Zhang H., Dai H., Beer M., Wang W. // Mechanical Systems and Signal Processing. 2013. – Vol. 37, No. 1–2. – P. 137–151.
14. Troffaes, M. A Cantelli-type Inequality for Constructing Non-Parametric P-Boxes Based on Exchangeability / Troffaes M., Basu T. // International Symposium on Imprecise Probabilities: Theories and Applications. – PMLR, 2019. – P. 386–393.
15. Соловьева, А. А. Уточненный р-блок на основе неравенства Чебышева для анализа надежности строительных конструкций / А. А. Соловьева // XIV Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых : материалы Всероссийской научной конференции : в 3 томах. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2020. – С. 420–423.

A.A. Solovyova, E.I. Ilyichev
Vologda State University

RANDOM VARIABLE MODEL UPDATE IN PROBLEMS OF STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS WITH LIMITED STATISTICAL INFORMATION

The article describes a new type of p-box as a random variable model for problems of analyzing the structural reliability analysis with imprecise statistical data. The p-box represents two boundary probability distribution functions that create an area within which the actual distribution is located, but it's unknown due to epistemic uncertainty. An effective combination of boundary functions based on the Chebyshev's inequality and the values of Kolmogorov-Smirnov statistics makes it possible to reduce the epistemological uncertainty of the random variable model with incomplete statistical information. The use of the proposed model in practical tasks of structural reliability analysis will reduce the

scope of the interval for assessing the failure probability, thereby increasing the informative response. The advantage of the model is that there is no need to confirm the hypothesis about the type of distribution of a random variable as to build the model only information about the first two moments of a random variable in the form of confidence intervals is necessary.

Reliability, p-box, failure probability, Kolmogorov-Smirnov bounds, interval estimation, Chebyshev's inequality.



МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА ПРИМЕРЕ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

В данной статье рассмотрены вопросы обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО), приводятся расчетные и другие параметры ТКО Вологодской области. Статья содержит сведения об объектах по обработке, утилизации, обезвреживанию и размещению отходов, находящихся на территории Вологодской области, а также морфологический состав ТКО по результатам инструментальных замеров. Проведен сравнительный анализ с данными аналогичных замеров ТКО в Ярославской области. Данные, приведенные в статье, необходимы для определения ресурсного потенциала ТКО и целесообразности внедрения раздельного сбора и его организации.

Твердые коммунальные отходы (ТКО), морфологический состав ТКО, инструментальные замеры, сортировка, рециклинг, управление в области утилизации отходов домохозяйств.

По Федеральному закону от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» «ТКО – отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд. К твердым коммунальным отходам также относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами» [1].

В Вологодской области образуется примерно 495 000 тонн ТКО в год, при средней плотности 140 кг/м³, это 3,5 млн м³ в год [2].

По данным Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области в

регионе функционирует: санкционированных – 41 объект размещения ТКО; несанкционированных – 101 свалка, которая занимает 164 Га; 5 объектов сортировки; эксплуатируется: 25318 контейнеров, 6120 контейнерных площадок, 222 контейнера для раздельного сбора, 382 бункера [2].

Объемы ТКО, которые поступают на полигоны (447,5 тыс. т, примерно 90 % от общего количества ТКО), чаще всего минуют процесс сортировки. В таблице 1 приведены названия полигонов, районы/города Вологодской области, из которых вывозятся ТКО, их масса и среднее расстояние до полигона, т.н. «плечо». Из 26 полигонов только 5 имеют сортировочные станции. На них сортируется 261,6 тыс. т – 53 % ТКО. Даже если эта цифра завышена, вряд ли больше 4 % отходов [2] подлежит вторичному использованию. Это составит всего лишь 6–7 тыс. т отходов из 495 тыс. т [3, 4].

Таблица 1

Объекты по обработке, утилизации, обезвреживанию и размещению отходов Вологодской области

№	Название полигона/свалки	Сортировка	Район/город, из которого поступают ТКО	Масса ТКО (тыс. т)	Плечо (км)
1	2	3	4	5	6
1	Полигон ТБО, г. Сокол (ООО «Комус»)		Бабушкинский район, Междуреченский район, Сокольский район, Тотемский район	4,8 0,2 19,2 8,2	220 130 2,3 190
2	Полигон ТБО с. Тарногский Городок (ООО «Тарнога-ЖилКомсервис»)		Тарногский район	4,5	4,4
3	Полигон для захоронения промышленных, твердых бытовых отходов Нюксенского ЛПУМГ (ООО «Агроремтехснаб»)		Нюксенский район	2,9	26,8

№	Название полигона/свалки	Сортировка	Район/город, из которого поступают ТКО	Масса ТКО (тыс. т)	Плечо (км)
1	2	3	4	5	6
4	Полигон ТКО, с. Верховажье (ООО «ВерховажьеСтройСервис»)		Верховажский район	3,6	3,1
5	Полигон ТКО, с. Сметанино (ООО «Экологические технологии»)		Верховажский район	0,5	32,0
6	Полигон ТБО, п. Вожега Вожегодского городского поселения (ООО «Вожегодское коммунальное хозяйство»)		Вожегодский район	5,4	5,6
7	Полигон ТБО для г. Вологды (АО «Вторресурсы»), д. Подгорье	Сортировка АО «Вторресурсы»	Вологда, Вологодский район	135 20,4	31,8
8	Полигон ТБО, г. Грязовец (МУП «Управление жилищно-коммунального хозяйства п. Вохтога»)	Сортировка ООО «Зеленый Город»	Грязовецкий район, Междуреченский район	11,6 1,6	24,4 87,0
9	Полигон ТБО, с. Кичменский Городок (ООО «Комсервис»)		Кичменгско-Городецкий район	5,6 8	1,7
10	Полигон ТКО, примыкающий с севера к автомобильной дороге «Соколов-Никольское» в 5 км. от г. Никольска		Никольский район	7,6	
11	Полигон ТБО, с. Сямжа (ООО «Сямженский водопровод»)		Сямженский район	2,7	6,2
12	Свалка в районе деревни Коробейниково		Великоустюгский район	25	
13	Полигон ТБО, с. Устье (ООО «Усть-Кубинский водопровод»)		Усть-Кубинский район	3,4	2,4
14	Полигон ТБО, г. Харовск (МУП «Харовск»)		Харовский район	6,0	6,5
15	Полигон ТБО, г. Бабаево (МП «Служба заказчика»)		Бабаевский район	5,0	27
16	Полигон ТБО, с. Борисово-Судское (ООО «Жилищно-коммунальное хозяйство Борисовское»)			2,1	62,4
17	Полигон ТБО «Ильинское» (ООО «Полигон»)	Мусоросортировочная станция «Эковтор»	Белозерский район	6,0	120
18	Полигон ТКО (МУП «Водоканал»)		Вашкинский район, Кирилловский район	3,4 0,6	5,0 74,0
19	Полигон ТКО, г. Вытегра (ООО «ЭКО-СТАР»)		Вытегорский район	10,1	7,0
20	Полигон ТБО МО Мазское Кадуйского района Вологодской области (МУП «Кредо»)		Кадуйский район	0,5	11,0
21	Полигон ТБО, п. Кадуи Кадуйского района Вологодской области (МУП «Кредо»)			6,8	30
22	Полигон ТБО, г. Кириллов (МУП «Спецавтохозяйство» Кирилловского района)		Кирилловский район	5,1	2,7
23	Полигон ТБО, г. Устюжна (Муниципальное хозяйственное общество с ограниченной ответственностью «Импульс»)		Устюженский район	7,4	8,7
24	Полигон ТБО, п. Сазоново (МУП «УниверсалСервис»)		Чагодощенский район	5,4	15,0
25	Полигон ТБО г. Череповца (ООО «ЭкоТрансСервис»)	Сортировка ИП Козлов	Череповец, Череповецкий район	27,7	16,2
		Сортировка «Чистый След»		49,8 9,5	14,8 16,2
				43,0 1,5	26,3 71,3
26	Полигон д. Малый Исток (ООО «АкваЛайн»)		Череповец, Череповецкий район	6,9 2,2	25,0 27,0
27	Полигон ТБО д. Новое Домозерово (ООО «АкваЛайн»)		Череповецкий район	0,3	38,3

**Данные морфологического состава ТКО
Вологодской и Ярославской областей**

Компоненты	Доля в общем объеме, %	
	Вологодская область	Ярославская область
Пищевые отходы	8	28,17
Бумага (картон)	17	8,17
Полимерные материалы, в т.ч.: полимерные пленки (полиэтилен, полипропилен); полиэтилентерефталат (бутылки и пр.); полипропилен (без пленок); поливинилхлорид; прочие пластмассы	26	14,12 2,19 1,82 1,82 2,68 5,61
Стекло	8	14,5
Древесина	6	3,53
Текстиль	6	0,38
Металл: черный металлолом (в том числе жестяные бутылки) цветной металлолом (в том числе алюминиевые бутылки)	4	1,73 0,83 0,9
Смет с территории (земля, песок, камни, растительные отходы)	5	9,62
Растительные отходы		4,82
Кожа, резина		3,42
Опасные отходы (батарейки, аккумуляторы, тара от растворителей, красок, ртутные лампы и пр.)		1,26
Тетрапак		0,71
Прочее	20	8,51

Таблица 3

**Морфологический состав ТКО Вологды (многоквартирный жилой фонд),
замеры 2020 г., расчет по объемам**

№	Наименование компонента	Зима	Лето	Осень	Доля, % в общем объеме, замеры 2020 г., г. Вологда	Доля, %, в общем объеме, территориальная схема 2016 г., 15 категорий, в среднем по области	Доля, %, в общем объеме, территориальная схема 2016 г., жилой фонд, в среднем по области
		Доля в общем объеме, %, г. Вологда					
1	Бумага, картон	14,1	9,3	11,9	11,8	17	8
2	Полимерные материалы в том числе:	27,5	51,8	32,3	37,2	26	30
2.1	ПЭТ	10,8	21,6	7,1	13,2		
2.2	Пластики 2Д	8,0	20,2	19,5	15,9		
2.3	Пластики 3Д	8,7	10,0	5,8	8,1		
3	Древесина		3,7		1,2	6	4
4	Текстиль	11,8	0,2	3,9	5,3	6	12
5	Металл	2,1	7,3	4,0	4,5	4	5
6	Стекло	8,2	3,6	3,1	5,0	8	5
7	Пищевые отходы	8,5	4,6	12,4	8,5	8	16
8	Смет с территории	0,8	0,7	2,7	1,4	5	2
9	Прочие отходы	27,1	18,8	29,6	25,2	20	22

**Морфологический состав ТКО Вологды (многоквартирный жилой фонд),
замеры 2020 г., расчет по массе**

№	Наименование компонента	Зима	Лето	Осень	Доля, %, в общем объеме замеры 2020 г.	Доля, %, территориальная схема 2016 г.
		Доля в общем объеме, %				
1	Бумага, картон	3	4	4	4	12
2	Полимерные материалы	9	9	12	10	26
	в том числе:					
2.1	ПЭТ	3	1	5	3	
2.2	Пластики 2Д	2	6	3	4	
2.3	Пластики 3Д	3	2	4	3	
3	Древесина			5	2	5
4	Текстиль	10	8	1	6	7
5	Металл	1	7	21	10	2
6	Стекло	18	8	14	13	4
7	Пищевые отходы	29	37	25	30	25
8	Смет с территории	2		3	2	4
9	Прочие отходы	28	27	15	23	17

В таблице 2 представлен морфологический состав ТКО Вологодской области, определенный для включения в территориальную схему обращения с отходами [1] лабораторией ГБУ НО «ЭКОЛОГИЯ РЕГИОНА» (лицензия Р/2014/2578/100/Л от 05.06.2014). Для сравнения в таблицу включены данные морфологического состава ТКО Ярославской области. Как видим, состав ТКО в Ярославской области [5] представлен более полно: включены конкретные фракции полимерных отходов, опасные отходы (батареи, аккумуляторы, тара от растворителей, красок, ртутные лампы и пр.), резина, кожа, растительные отходы, черный и цветной металл и др. В Вологодской области приводятся данные по 9 фракциям ТКО, а в Ярославской области – по 18 позициям (в два раза больше).

Для формирования новой Территориальной схемы обращения с отходами Вологодской области в период 2020–2021 года проводились замеры норм и морфологического состава ТКО в периоды «зима», «лето», «осень». Замеры были проведены ООО «Большая тройка» по Государственному контракту № 3 Администрации Вологодской области от 15.01.2020 г. на выполнение научно-исследовательских работ.

Таблицы 3 и 4 содержат данные расчетов инструментальных замеров города Вологды трех периодов по массе и по объемам. Расчет производился согласно [6].

Анализ приведенных данных позволяет сделать следующий вывод: большая доля ТКО от населения, находящаяся в контейнерах, приходится на пищевые и прочие отходы – они составляют примерно 50 % объема ТКО. Пищевые и прочие отходы, воздействуя на другие фракции (бумагу, древесину, текстиль), превращают изначально неопасные отходы (в момент образования с точки зрения Федерального классификационного каталога отходов, ФККО) в реально опасные, которые изда-

ют неприятный запах, самовозгораются, загрязняют воду, почву и т.п.. Эти отходы чаще всего имеют органическую составляющую, они способны разлагаться в естественных условиях – биодegradировать.

Морфологический состав, рассчитанный по массе (табл. 4), и данные [1] дают возможность произвести расчет максимальных количественных показателей полезных фракций ТКО (табл. 5).

На примере полимерной составляющей ТКО можно предположить, что при средней производительности одной линии переработки 2500 кг/ч, в которую входят измельчитель, металлоуловитель, мойка, гранулятор, годовая масса переработки составит примерно 40 т, что сопоставимо с годовым накоплением полимерных ТКО в год (табл. 5).

Таблица 5
**Количественные показатели фракций ТКО,
подлежащих вторичному использованию**

№	Фракция ТКО	% морфологического состава	Количество, тыс. т/год
1	Бумага	4	19,8
2	Полимеры	10	49,5
3	Стекло	13	64,4
4	Металлы	10	19,8
5	Текстиль	6	29,4
6	Дерево	2	10
Итого		45	223

Данные о морфологическом составе ТКО актуальны при решении вопросов целесообразности внедрения отдельного сбора мусора и его организации: например для того, чтобы знать, сколько и каких контейнеров потребуется для сортировки отходов. Ресурсный потенциал ТКО является важным при разработке бизнес-планов по строительству полигонов, мусоросортировочных комплексов, мусороперерабатывающих предприятий. Особенно важно

выделить в разные группы полимерные отходы: полиолефины, поливинилхлорид, полистирол, ПЭТ бутылки, т.к. технологии их переработки различаются и зависят от физико-химической структуры полимера [7]. Бумагу и картон также нельзя считать одним компонентом, т.к. если рассматривать их как вторсырье, то используются они для производства разной продукции.

Литература

1. Об отходах производства и потребления : Федеральный закон № 89-ФЗ от 24 июня 1998 г. : принят Государственной думой 22 мая 1998 года : одобрен Советом Федерации 10 июня 1988 года. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения: 06.04.2022).

2. Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами, в том числе твердыми коммунальными отходами, на территории Вологодской области : Приказ Департамента топливно-энергетического комплекса и тарифного регулирования региона № 174 от 29 декабря 2016 г. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 06.04.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Годовой отчет о реализации государственной программы «Охрана окружающей среды, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов на 2013–2020 годы» : Постановление Прави-

тельства Вологодской области № 1228 от 22 октября 2012 г. – URL: https://vologda-oblast.ru/dokumenty/zakony_i_postanovleniya/postanovleniya_pravitelstva/15486/ (дата обращения: 06.04.2022).

4. О внесении изменений в территориальную схему обращения с отходами, в том числе твердыми коммунальными отходами, на территории Вологодской области : Проект Приказа Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды от 20 октября 2020 г.

5. Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами, в том числе твердыми коммунальными отходами, на территории Ярославской области : Приказ Департамента охраны окружающей среды и природопользования Ярославской области № 70-н от 14 декабря 2018 г. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 06.04.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Об определении нормативов накопления твердых коммунальных отходов : Постановление Правительства Российской Федерации № 1130 от 04 апреля 2016 г. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 06.04.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Аскадский, А. А. Вторичные полимерные материалы : монография / А. А. Аскадский, Т. А. Мациевич, М. Н. Попова. – Москва : АСВ, 2017. – 496 с.

E.V. Solovyova
Vologda State University

HOUSEHOLD SOLID WASTE MORPHOLOGICAL COMPOSITION ON THE EXAMPLE OF VOLOGDA REGION

This article discusses the issues of solid household waste (HSW) management, provides calculated and other parameters of HSW in the region of the Russian Federation - Vologda region. The article contains information about the facilities for processing, disposal, neutralization and disposal of waste located in Vologda region, as well as the morphological composition of HSW according to the results of instrumental measurements, a comparative analysis with the data of similar measurements of HSW in Yaroslavl region. The data given in the article are necessary to determine the resource potential of HSW and the feasibility of implementing separate collection and its organization.

Solid household waste (HSW), morphological composition of HSW, instrumental measurements, sorting, recycling, management in the field of household waste disposal.



ИННОВАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ СУДОВ СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Приведены особенности судов смешанного плавания нового поколения и история их строительства. Рассмотрены возможности одновальных и двухвальных судовых энергетических установок и аргументы в пользу использования на судах смешанного плавания нового поколения главных энергетических комплексов на основе двух дизель-редукторных агрегатов с параметрами гребных винтов, исходя из речной осадки судов.

Суда нового поколения, одновальные и двухвальные установки, главный энергетический комплекс, пульсивный коэффициент.

В настоящее время в Российской Федерации осуществляется массовое строительство судов смешанного плавания нового поколения (СПНП). Ежегодно только со стапелей ПАО «завод "Красное Сормово"» сходит до 11 судов СПНП.

Отправной точкой строительства судов СПНП стало 26 января 2001 года, когда было заложено головное из серии судов типа «Валдай» (проект 01010) на ОАО «Северная верфь» по заказу судоходного холдинга ОАО «Северо-Западное пароходство» (ОАО «СЗП») [1]. Строительство судов типа «Валдай» осуществлялось в рамках Государственной программы «Возрождение торгового флота России» при поддержке Президента и Правительства Российской Федерации (закладка головного судна осуществлялась под руководством Председателя Правительства России).

Суда типа «Валдай» – это универсальные сухогрузные суда смешанного река-море плавания. По классификации Российского Морского Регистра Судоходства (РМРС) они относятся к самому высокому (первому) классу судов такого типа, которые могут осуществлять плавание как во внутренних водных путях, так и в морских районах на волнении с высотой волны 3-процентной обеспеченности 8,5 м, с удалением от мест убежищ до 200 миль и с расстоянием между местами убежищ до 400 миль. Суда проекта 01010 предназначены для перевозки генеральных и навалочных грузов (до 4800 тонн), а также контейнеров (до 260 штук). Их длина – 128,2 м, ширина – 16,74 м, осадка в реке/море – 3,60/4,20 м, дедвейт в реке/море – 3670/5010 тонн, номинальная скорость – 11 узлов.

Автор (в 2000–2004 годах заместитель генерального директора судоходного холдинга ОАО «СЗП») был непосредственным участником подготовки и реализации проекта 01010 и свидетелем его значимости. В то время в прессе отмечалось, что это было «...событие национального масштаба...», когда «...впервые в новейшей истории страны российский

судовладелец строит на отечественной верфи на российские финансы» [1].

В техническом плане важность проекта 01010 состояла в том, что он определил основные черты судов смешанного плавания нового поколения, а именно [1–3]:

- повышенные мореходность (класс РМРС до R1) и грузоподъемность (до 7000 тонн);
- наличие двух палуб (верхней и главной), носового подруливающего устройства, носового бульба и двойной осадки;
- повышенные компактность, энергетическая эффективность и уровень автоматизации энергетических установок вплоть до AUT1-ICS (с применением компьютерной интегрированной системы управления и контроля).

Проектирование судов типа «Валдай» выполняло ОАО «Вымпел», в процессе которого с участием заказчика (ОАО «СЗП») обосновывались основные технические решения. Ниже представлены два фрагмента этих решений, касающихся структуры судовой энергетической установки (СЭУ) и движителей судна.

Как известно, структура СЭУ зависит главным образом от количества гребных валов или, что одно и то же, от движителей. Что касается количества гребных валов, то традиционно считалось, что для судов смешанного плавания оптимальной является двухвальная установка [4].

Между тем в девяностые годы XX столетия значительное количество судов смешанного плавания были построены одновальными (проекты 16290, 16291, 05074М, 201 и ТС-82).

Для оценки эффективности такого нововведения была использована предложенная автором еще при подготовке материалов в энциклопедию транспорта [5] комплексная аддитивная методика, которая предусматривает формирование главного энергетического комплекса СЭУ в составе главных двигателей, главных передач, валопроводов и движителей во взаимодействии с корпусом судна не поэлементно, а как единого целого.

Показателей вариантов главного энергетического комплекса судна

Параметры, размерность	Варианты ГЭК			
	I	II	III	IV
Грузоподъемность судна, т	1700	1700	1700	1700
Осадка судна в полном грузу, м	3,4	3,4	3,4	3,4
Тип СЭУ	Одновальная	Двухвальная	Двухвальная	Двухвальная
Марки главных дизельных двигателей	6ЧН26/26	4ЧН26/26	6ВД26/20АЛ	6ДР30/50
Номинальная эффективная мощность, кВт	1050	500	530	515
Номинальная частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	1000	1000	1000	300
Главные передачи	Реверс-редукторная	Реверс-редукторные	Реверс-редукторные	Прямые
Диаметр гребных винтов, м	2,5	2,2	2,2	2,0
Пропульсивный коэффициент винтов	0,55	0,57	0,57	0,50
Удельная мощность ГЭК, кВт/м ³	50,3	32,1	42,0	21,8
Удельная масса ГЭК, кг/кВт	16,5	20,9	21,1	36,0
Удельная стоимость энергии, \$/кВт.ч	0,09	0,13	0,11	0,10

В результате на альтернативной основе было установлено, что при прочих равных условиях одновальная установка имеет лучшие массогабаритные показатели и меньшие удельные эксплуатационные затраты по сравнению с двухвальной установкой (табл.).

В то же время двухвальные установки имеют преимущество в маневренности, живучести и, как выяснилось, в энергетической эффективности главного энергетического комплекса (ГЭК) судов, эксплуатирующиеся в условиях ограниченного фарватера (по условиям Волго-Донского канала осадка судов в реке не должна превышать 3,6 м). Дело в том, что наличие двойной осадки судна и ограничений судового фарватера в речных условиях влияет на состав и, особенно, на параметры гребных винтов.

Как известно [4], пропульсивный коэффициент гребных винтов – это произведение коэффициента полезного действия (КПД) винта и коэффициента влияния корпуса судна, который учитывает попутный поток воды при движении судна и эффект засасывания гребных винтов при работе их около корпуса судна. Анализ влияния этих процессов на эффективность работы гребных винтов показал, что их действие неоднородно и противоположно, а именно:

- при диаметральной установке винта (одновальная установка) его КПД существенно снижается вследствие повышения удельной нагрузки на винт, а

- коэффициент влияния корпуса судна незначительно увеличивается по сравнению с бортовым расположением винта (двухвальная установка).

Еще заметнее на пропульсивный коэффициент гребных винтов влияет частота их вращения, причем обратно пропорционально: с уменьшением частоты пропульсивный коэффициент повышается. При этом оптимальное значение частоты вращения винтов зависит как от перерабатываемой мощности, состава ГЭК, скорости и осадки судна, так и от вальности установки [4], так как отрицательный эффект засасывания диаметрального гребного винта (одновальная установка) обычно превышает аналогичное бортового

винта (двухвальная установка) согласно следующей зависимости

$$\Delta t = 0,25\delta^2 - 0,054\delta + 0,064,$$

где Δt – изменение коэффициента засасывания при диаметральной расположении винта по сравнению с бортовым винтом; δ – коэффициент полноты водоизмещения судна.

В результате действия этих факторов (двух условно негативных и одного условно положительного) общий баланс по энергетической эффективности гребных винтов оказывается не в пользу одновальной установки. В частности, при диаметральной установке гребного винта (одновальная установка) в рамках речной осадки судна типа «Валдай» 3,60 м его пропульсивный коэффициент снижается до 5-процентных пунктов по сравнению с бортовым расположением винта (двухвальная установка). Кроме того, расчеты показали, что снижение эффективности «морских» гребных винтов (с параметрами, исходя из морской осадки) при работе их в речных условиях (при речной осадке) существенно (до 2 раз) превышает тот «выигрыш», который «морские» винты могли бы иметь при работе в море по сравнению с винтами, спроектированными исходя из речной осадки.

В связи с этим для судов проекта 01010 предпочтение было отдано установке на базе двух дизель-редукторных агрегатов с частотой вращения гребных винтов фиксированного шага 255 мин⁻¹ при их диаметре, предельном для речной осадки. Такой вариант главного энергетического комплекса позволил отчасти совместить преимущества одновальной установки в части ее массогабаритных показателей с большей энергетической эффективностью двухвальной установки. В рамках предельной осадки судна в реке пропульсивный коэффициент гребных винтов такой установки составил 54,7 %. Для обеспечения аналогичной эффективности одновальной установки речная осадка судна должна была бы быть не менее 4,1 м.

Рассмотренные соображения и решения подтвердили свою актуальность и для других судов смешанного плавания нового поколения, в частности типа

«Русич» (проект 00101), «Хазар» (проект RSD19) и «Нева-Лидер» (проект RSD49), который в настоящее время является наиболее массовым судном смешанного плавания нового поколения.

Основой энергетических установок проекта RSD49 также являются два дизель-редукторных агрегата, а их движительный комплекс выбирался на основе анализа возможностей пяти вариантов: с двумя открытыми винтами фиксированного шага (ВФШ), с двумя ВФШ в насадках, с одним открытым ВФШ, с одним открытым винтом регулируемого шага (ВРШ) и с одним ВРШ в насадке [3]. В конечном итоге проектировщик (ЗАО «Морское Инженерное Бюро») отдал предпочтение движительному комплексу аналогичному комплексу проекта 01010 – с двумя открытыми гребными винтами фиксированного шага.

В части компактности энергетических установок ЗАО «Морское Инженерное Бюро» пошло еще дальше и на ряде судов (проекты 005RSD03, 006RSD02, 006RSD05 и 007RSD07) использовало в качестве двигателей полноповоротные винторулевые колонки с механическим приводом винтов фиксированного шага, что позволило существенно (до 20 %) сократить размеры машинного отделения [3].

Таким образом, в рамках Единой водной транспортной системы страны для судов смешанного пла-

вания нового поколения предпочтительнее использовать двухвалльные дизель-редукторные энергетические установки с параметрами винтов фиксированного шага, оптимальными при речной осадке судов.

Литература

1. Астафьев, Н. Первенец российского торгового флота – событие национального масштаба / Н. Астафьев // Водник Северо-Запада. – 2002. – № 1 (94952).
2. Баев, А. С. Северо-Западное пароходство: основа компании – флот. История и перспективы / А. С. Баев // Морской вестник. – 2002. – № 4.
3. Егоров, Г. В. Основные решения нового поколения «сверхполных» грузовых судов смешанного река-море и внутреннего плавания / Г. В. Егоров, А. Г. Егоров // Судостроение. – 2018. – № 4. – С. 9–16.
4. Проектирование судов внутреннего плавания / Н. К. Дормидонтов, В. Н. Анфимов, П. А. Малый [и др.]. – Ленинград : Судостроение, 1974. – 335 с.
5. Большая энциклопедия транспорта. Том 6. Речной транспорт / под редакцией А. С. Бутова, А. М. Зайцева. – Санкт-Петербург : Элмор, 1998. – 312 с.

A.S. Bayov

St. Petersburg State Marine Technical University

INNOVATIONS IN NEW GENERATION MIXED NAVIGATION SHIPS ENERGY PERFORMANCE

Features of mixed navigation ships of new generation and history of their construction are described. Opportunities of one-shaft and two-shaft ship power installations and arguments in favor of their use of the main power complexes on the basis of two diesel gear-reduction units with parameters of screw shafts considering ship' draft on mixed navigation ships of new generation of are discussed.

Ships of new generation, one-shaft and two-shaft installations, the main power complex, propulsive factor.



ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА РАДИАЛЬНО-ПОРШНЕВОЙ ГИДРОМАШИНЫ

В статье проведен динамический анализ механизма радиально-поршневой гидромашины, в которой за основу взят кулисный механизм с плоской направляющей, а движение от эксцентрика вала к поршням передается через обойму, выполненную в виде многогранника и совершающую сканирующее плоскопараллельное движение. На основе анализа сил и крутящих моментов установлено, что заданным внешним воздействием на звездочку является только совокупность сил, действующих на грани со стороны плунжеров, обеспечивающая стационарный режим, остальные силы устанавливаются при этом автоматически.

Радиально-поршневая гидромашина, механизм привода поршней, обойма, палец, кольцо, сила, момент.

В машиностроении и, в частности, в металлорежущих станках получили широкое применение радиально-поршневые гидравлические машины с клапанным распределением жидкости, которые позволяют создавать высокое давление и за счет этого обеспечить необходимые технические характеристики привода при минимальных габаритных размерах и массе.

Рассматривается конструкция радиально-поршневой гидромашины, в которой за основу взят кулисный механизм с плоской направляющей. Дви-

жение от эксцентрика вала передается к поршням через обойму, выполненную в виде многогранника и совершающую сканирующее плоскопараллельное движение [1, 2]. В работе [3] описано устройство и принцип действия этого механизма, а также произведен геометрический и кинематический анализ движения обоймы и вала. Вместе с тем, не исследованы динамические характеристики.

Оптимальный вариант места крепления пальцев представлен на рисунке 1.

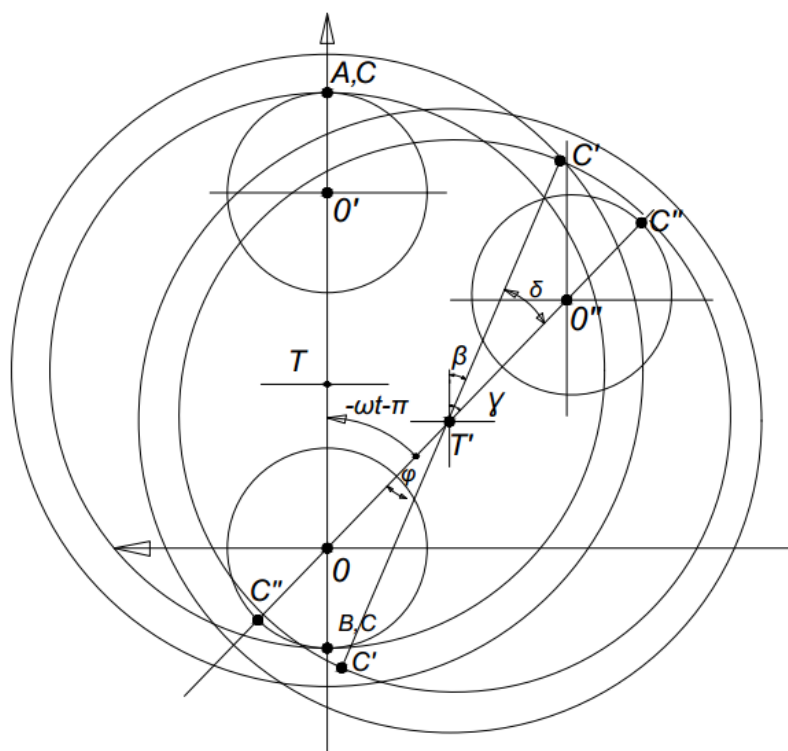


Рис. 1. К динамическому анализу крепления: φ – угол поворота; ω – угловая скорость; t – время; O – центр пальца, закрепленного в корпусе; O' , O'' – центры пальцев, закрепленных в звездочке

Рассмотрим равномерное вращение вала: $\varphi(t)=\omega t, \varphi_0=0$. Пусть положение OO' имеет некоторую начальную фазу α_0 , T совпадает с центром масс кольца; координаты O в основной системе, связанной с корпусом, есть $O(a, b)$.

Движение должно происходить без проскальзывания в механизме сканирующего движения звездочки, т.е. предполагается точное совпадение $L = \varepsilon$, $R = L - 2r$. Подвижная система связана с центром кольца и всегда параллельна основной системе, тогда β – угол поворота кольца в подвижной системе (отметки $CC, C'C'$ и т.д. неподвижно связаны с кольцом, C' – новое положение старых точек контакта, C'' – новые точки контакта).

Траектория центра масс кольца (в основной системе) может быть описана уравнениями:

$$X_T = a + \frac{\varepsilon}{2} \cos(-\omega t - \pi + \alpha_0);$$

$$Y_T = b + \frac{\varepsilon}{2} \sin(-\omega t - \pi + \alpha_0),$$

откуда

$$\ddot{X}_T = -\frac{\varepsilon\omega}{2} \cos(-\omega t - \pi + \alpha_0);$$

$$\ddot{Y}_T = -\frac{\varepsilon\omega}{2} \sin(-\omega t - \pi + \alpha_0).$$

Тогда проекции на оси основной системы главного вектора сил, действующих на кольцо, получаются из соотношений

$$\sum F_{xi} = -m \frac{\varepsilon\omega^2}{2} \cos(-\omega t - \pi + \alpha_0);$$

$$\sum F_{yi} = -m \frac{\varepsilon\omega^2}{2} \sin(-\omega t - \pi + \alpha_0),$$

где m – масса кольца.

Угол поворота кольца вокруг центра масс:

$$\beta = \gamma - \delta = -\omega t - \pi - \frac{\tau}{R}(-\omega t - \pi)$$

$$= (\omega t + \pi) \left(\frac{\tau}{R} - 1 \right).$$

Главный момент сил, действующих на кольцо,

$$\sum_{\text{момТ}} \overline{F'_i} = J \frac{d^2\beta}{dt^2},$$

и очевидно, что $\sum_{\text{момТ}} \overline{F'_i} = 0$ при $\omega = \text{const}$.

Здесь J – момент инерции кольца относительно его центра.

Рассмотрим систему сил, действующих на звездочку со стороны плунжеров (на ее грани), в узлах крепления (на пальцы, заделанные в звездочку) и реакцию вала (силы трения, возникающие в подшипниках качения, не учитываются) (рис. 2, 3). При стационарном режиме ($\omega = \text{const}$), как показывает анализ, момент сил, действующих на звездочку, равен нулю, а сила, действующая на центр масс звездочки, направлена вдоль OC (O – центр масс, C – центр вращения вала) и равна $m\varepsilon\omega^2$. Здесь m – масса звездочки. Силы, действующие на пальцы, направлены вдоль CO .

Считается, что пальцы расположены строго симметрично, т.е. если K – число граней, n – номер грани, на палец, связанный с гранью, действует периодическая одинаковая для всех граней сила (основной период $\frac{2\pi}{\omega}$) со сдвигом фазы для пальца $n - n\frac{2\pi}{K}$. То же самое предполагается и для сил, действующих на грани со стороны плунжеров: они периодические с основным периодом $\frac{2\pi}{\omega}$; одинаков и сдвиг фазы на грани $n = 0$ и $n = K-1$.

Грани занумерованы от $n = 0$ до $n = K-1$, отсчет углов ведется от линии OB , соединяющей центр масс O и общую для граней $n = 0$ и $n = K-1$ вершину B . Положение звездочки задается углом между OB и OC , равным $\omega t + \beta$, где β – начальная фаза, связанная с выбором отсчета.

Тогда силы, действующие на пальцы, имеют представление Фурье:

$$F_n = A + \sum_{p=1}^{\infty} (a_p \cos(p\omega t + pn\frac{2\pi}{K}) + bp \sin(p\omega t + pn\frac{2\pi}{K})), \quad (1)$$

силы, действующие на грани:

$$\Phi_n = B + \sum_{p=1}^{\infty} (A_p \cos(p\omega t + pn\frac{2\pi}{K}) + Bp \sin(p\omega t + pn\frac{2\pi}{K})), \quad (2)$$

где A, B – некоторые постоянные компоненты сил.

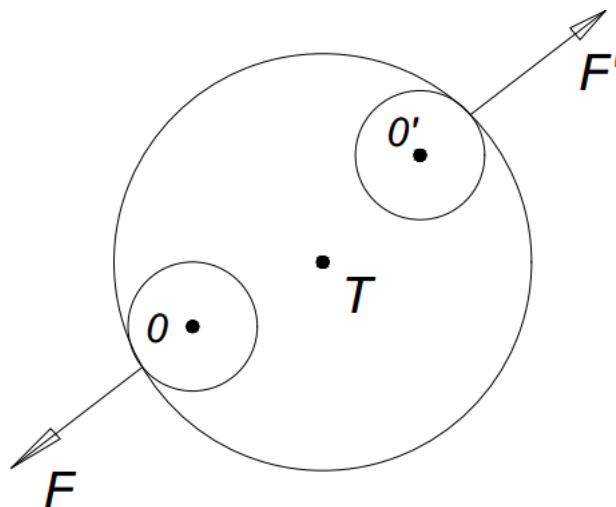


Рис. 2. Схема сил, действующих на кольцо

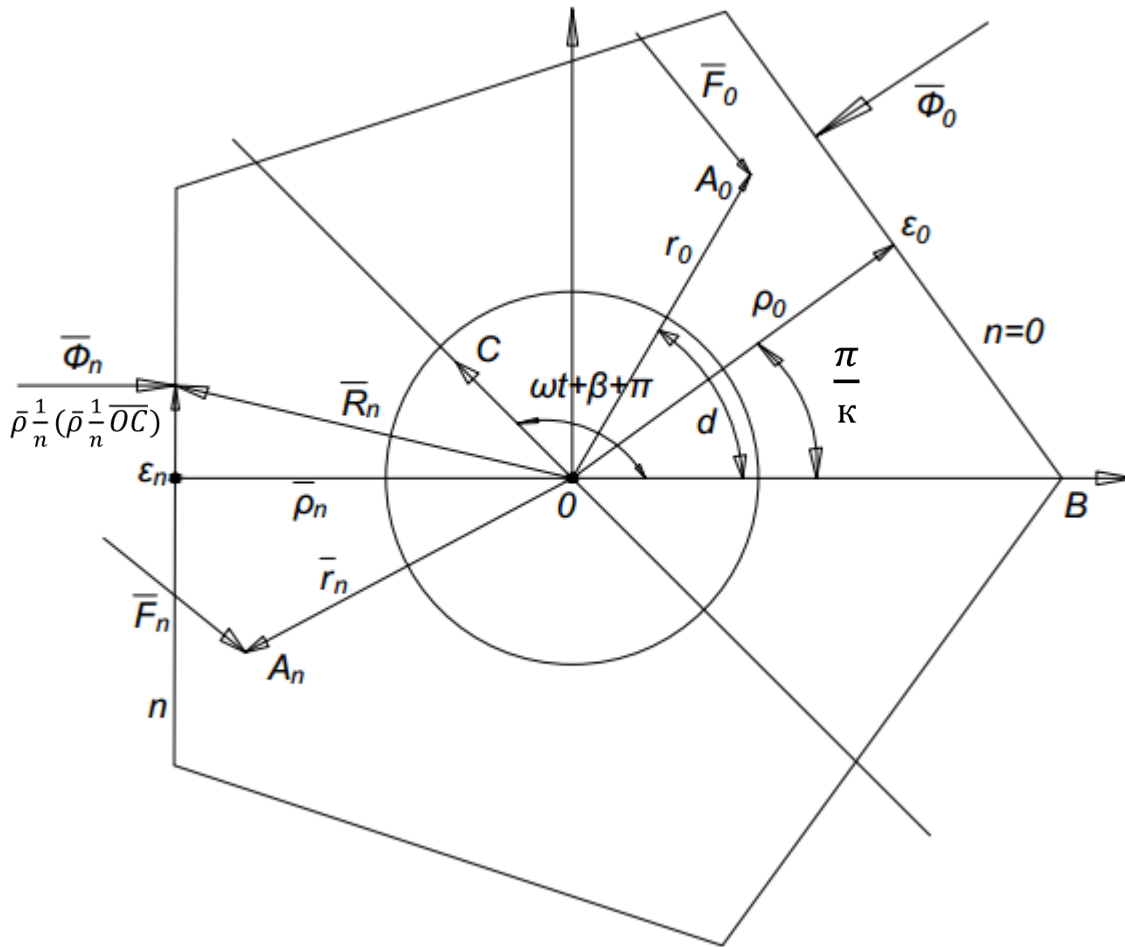


Рис. 3. Схема сил, действующих на звездочку

Вычислим моменты сил относительно центра масс:

$$\bar{M}n_1 = [r_n \bar{F}_n] \text{ и } \bar{M}n_2 = [R_n \bar{\Phi}_n].$$

Из (1) и (2) следует:

$$\bar{M}n_1 = LF_n \sin(\omega t + \beta - n \frac{2\pi}{K} - \frac{\pi}{K}) \{0; 0,1\}. \quad (3)$$

т.е. момент сил направлен перпендикулярно плоскости звездочки.

$$\bar{M}n_2 = -\varepsilon \Phi_n \sin(\omega t + \beta - n \frac{2\pi}{K} - \frac{\pi}{K}) \{0; 0,1\}. \quad (4)$$

Должно выполняться соотношение

$$\sum_{n=0}^{K-1} (\bar{M}n_1 + \bar{M}n_2) = 0.$$

Как указывалось, сила, действующая на центр масс, направлена по ОС и равна $m\varepsilon\omega^2$. С другой стороны, она есть сумма сил, действующих на пальцы

($\sum_{n=0}^{K-1} \bar{F}_n$) проекцией на ОС сил, действующих на грани ($\sum_{n=0}^{K-1} n\rho_0 \bar{\Phi}_n$), и реакции вала R, действующей также по ОС. Суммируя и проектируя соответствующие силы, получим в соответствии с изложенным:

$$KA \frac{K}{2} A_1 \cos\left(2\omega t + \beta - \frac{\pi}{k}\right) - \frac{k}{2} B_1 \sin\left(2\omega t + \beta - \frac{\pi}{k}\right) + R = M\varepsilon\omega^2. \quad (5)$$

Таким образом, можно считать, что заданным внешним воздействием на звездочку является только совокупность сил, действующих на грани со стороны плунжеров, обеспечивающая стационарный режим $\omega = \text{const}$; остальные силы устанавливаются при этом автоматически. Такой вывод не противоречит кинематике механизма.

Литература

1. Патент № 2722928 Российская Федерация, МКИ² F03 C 01/04. Радиально-поршневой гидромотор с клапанным распределением: 2019131574 : заявл. 07.10.19 : опубл. 08.06.2020 / Колпаков В. Н. ; заявитель ФГБОУВО «Вологодский государственный университет».
2. Авторское свидетельство № 885655 СССР, МКП⁴ F16 H 21/30 Передача для преобразования вращательного движения в сканирующее: № 2878809/25-06 : заявл. 18.12.1979 : опубл. 30.11.1981 / Евдокимов В. П., Колпаков В. Н., Куна В.С. [и др.] ; заявители: Вологодский политехнический институт, Ленинградский опытный завод гидроавтоматики.
3. Колпаков, В. Н. Кинематическое исследование механизма привода поршней радиально-поршневой

гидравлической машины / В. Н. Колпаков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования : мате-

риалы двадцатой Международной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГУ, 2019. – С. 53–57.

V.N. Kolpakov
Vologda State University

DYNAMIC ANALYSIS OF RADIAL PISTON HYDRAULIC MACHINE MECHANISM

The article presents a dynamic analysis of the mechanism of a radial piston hydraulic machine, in which a rocker mechanism with a flat guide is taken as a basis, and the movement from the shaft eccentric to the pistons is transmitted through a cage made in the form of a polyhedron and performing a scanning plane-parallel movement. Based on the analysis of forces and torques, it is established that the specified external effect on the sprocket is only a combination of forces acting on the face from the plungers and providing a stationary mode, the remaining forces are set automatically.

Radial piston hydraulic machine, piston drive mechanism, clip, finger, ring, force, moment.



Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев
Ульяновский государственный аграрный университет
имени П.А. Столыпина

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ РЕЖИМЫ НАГРУЖЕНИЯ СТЕНОК РЕЗЕРВУАРА

В статье рассматривается математическая модель деформации стенок вертикального резервуара при сливно-наливных операциях. Рассмотрены вопросы длительности и режима нагружения и разгрузки резервуара, а также долговечность резервуара для выполнения одного цикла нагружения.

Резервуар, деформация, нагружение, цикл, ресурс.

Резервуарные парки являются значимым структурным элементом топливно-энергетического комплекса, они гарантируют равномерность загрузки нефтеперерабатывающих заводов и компенсации неравномерности приема-отпуска нефти на границах технологических участков.

Операция заполнения и слива вертикальных резервуаров характеризуется переменным процессом деформации его стенок. Значение величины деформации стенки резервуара при нагружении не совпадает с обратной деформацией при разгрузке, образуя площадь петли гистерезиса. Петля гистерезиса выражает накопление энергии в материале и в зависимости от длительности действия изменяет свою площадь, тогда затраты энергии на деформацию материала резервуара при единичном нагружении можно представить в виде [1, 4]

$$J(\sigma) = \kappa_n \mu_{\sigma, \varphi} A_z V_m, \quad (1)$$

где κ_n – коэффициент пропорциональности;

$\mu_{\sigma, \varphi}$ – масштабный коэффициент по напряжению и углу изгиба элемента;

A_z – площадь петли гистерезиса;

V_m – объем рассматриваемого элемента резервуара.

Приведенный к наиболее тяжелому режиму нагружения ресурс резервуара представим в виде [7]

$$R_i = J(N_u)_{np} / k_i = J(N_u)_{np} / \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{k_i} \right)^m, \quad (2)$$

где $J(N_u)_{np}$ – приведенная затраченная энергия на деформацию стенок резервуара на наиболее тяжелом режиме (при максимальном заполнении резервуара).

Длительность режима нагружения и разгрузки резервуара, связанную с деформацией отдельных элементов $J(N_u)_0$, можно определить из уравнения

кривой изменения накопленной энергии в зависимости от количества циклов (длительности действия) $J(N_u)_0^{*m} t_0 = J(N_u)_i^{0*m} t_i$ (рис.) [6, 8].

Подставив в это уравнение $k_{J_0} J(N_u)_0 = J(N_u)_0^*$ и $k_i J(N_u)_i = J(N_u)_i^{0*}$, получим $t_i^0 = t_0 \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m$.

Приведенное время нагружения на наиболее тяжелом режиме с накопленной энергией в материале определяется выражением

$$T_{\Sigma} = t_0 + \sum_{i=1}^n t_i^0 = t_0 \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right]. \quad (3)$$

Из условия исчерпания ресурса R_i детали следует соотношение

$$T_{\Sigma} = t_0 \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right] = R_i = \frac{J(N_u)_{np}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{k_i} \right)^m}, \quad (4)$$

откуда можно определить предельное время работы t_{np} на наиболее тяжелом режиме нагружения с учетом других факторов

$$t_{np} = R_i \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right]^{-1}. \quad (5)$$

Долговечность резервуара для выполнения одного цикла нагружения и разгрузки можно представить как сумму отдельных этапов эксплуатации резервуара

$$\sum t = t_n + t_c + t_x + t_{\delta m}, \quad (6)$$

где $\sum t$ – суммарная наработка или продолжительность нагружения от начала до окончания цикла разгрузки, ч;

t_n – время налива топлива, ч;

t_c – время слива, ч;

t_x – время хранения топлива в резервуаре, ч;

$t_{\delta m}$ – время нахождения резервуара без топлива, ч.

Предельное число циклов заполнения и опорожнения за долговечность резервуара $r = T/t_n$.

Продолжительность режимов заправки за время истощения ресурса [2, 3]

$$T = T_{\text{э.п.р.}} \cdot \left[1 + \sum_1^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right]^{-1}, \quad (7)$$

где $T_{\text{э.п.р.}} = J(N_{\text{ц}})_{\text{нр.}} / \sum_1^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m$ – приведенное эквивалентное время на режиме заправки.

Принимая во внимание предельное число режимов заполнения и опорожнения резервуара, суммарная наработка за r циклов заправки резервуара топливом [8]

$$\sum tr = r(t_n + t_c + t_x + t_{\text{ом}}). \quad (8)$$

Разделив обе части равенства (8) на произведение $|t_n r| = T$ и подставив значение T из выражения (7), с учетом высоты налива h получим

$$\sum tr = \frac{T_{\text{э.п.р.}}}{1 + \sum_1^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m} \left[1 + \frac{h}{t_n} \right]. \quad (9)$$

Продолжительность налива и слива топлива для заданного объема резервуара приблизительно постоянны, соответственно, отношение h/t_n можно заменить постоянной величиной «С» [5, 9]. Учитывая, что время хранения топлива в резервуаре зависит от величины полного объема резервуара V_p и скорости

наполнения \dot{v}_n этого объема топливом, получим выражения для суммарной наработки в зависимости от параметров резервуара и прочностной характеристики материала, названное «оптимальным эксплуатационным ресурсом», в виде

$$\sum tr = \frac{T_{\text{э.п.р.}}}{1 + \sum_1^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m} \left[1 + \frac{V_p}{t_n \dot{v}_n} + C \right]. \quad (10)$$

Величину снижения ресурса, эквивалентного полному нагружению резервуара, можно представить

$$R_{\text{э.п.р.}} = \frac{\sum t_{\text{о.н.}}}{1 + \frac{V_p}{\dot{v}_n} + C} \left[1 + \sum_1^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m \right], \quad (11)$$

где $\sum t_{\text{о.н.}}$ – общее время работы резервуара под нагрузкой на данный момент.

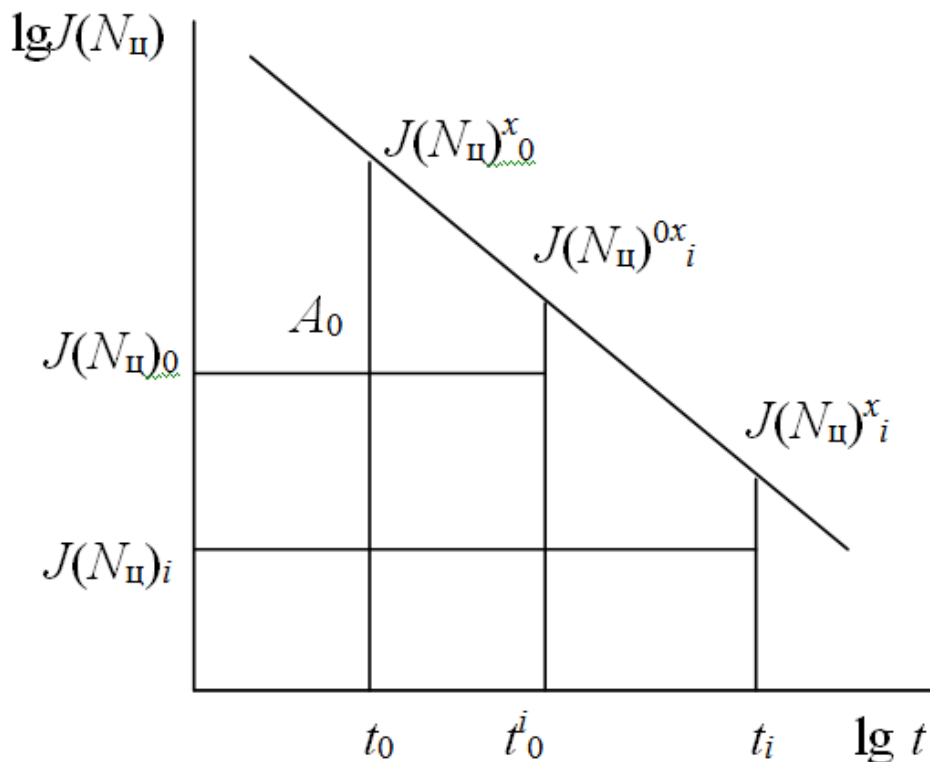


Рис. Схема вычисления эквивалентных режимов нагружения стенок резервуара

Если связать сопротивление материала при нагружении с площадью поперечного сечения элемента, а при разгрузке – с моментом сопротивления опасного сечения, то в качестве меры повреждения можно применять отношение площадей петли гистерезиса до начала появления микротрещин к номинальным площадям при базовом числе циклов нагружения – разгрузки.

Литература

1. Герасименко, А. А. Оценка остаточного ресурса стального вертикального резервуара по критерию малоциклового усталости металла в условиях двухосного нагружения / А. А. Герасименко, Г. Х. Самигуллин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2016. – № 1. – С. 33–36.

2. Кошечкин, М. В. Прогнозирование ресурса стенки стальных вертикальных резервуаров при малоцикловом нагружении / М. В. Кошечкин, Т. А. Гарипов // Научный обозреватель. – 2012. – № 5. – С. 49.

3. Мурзаханов, Г. Х. Методика диагностирования и оценки остаточного ресурса стальных вертикальных резервуаров / Г. Х. Мурзаханов // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 1. – С. 42–47.

4. Особенности коррозии вертикальных резервуаров для нефтепродуктов / Д. Е. Молочников, Р. Н. Мустякимов, В. А. Голубев [и др.] // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения : материалы Национальной научно-практической конференции. – Димитровград, 2018. – Т. 2. – С. 215–220.

5. Повышение долговечности емкостей для перевозки нефтепродуктов автомобильным транспортом

увеличением их жесткости при ремонте / С. А. Яковлев, Д. Е. Молочников // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2019. – № 2. – С. 46–48.

6. Прогнозирование ресурса вертикальных резервуаров / Д. Е. Молочников, С. А. Яковлев, С. В. Голубев [и др.] // Достижения техники и технологий в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции (Ульяновска, 15 ноября 2018 г.). – Ульяновск : Ульяновский ГАУ, 2018. – С. 309–313.

7. Сайфуллина, Л. Р. Особенности расчета стенки резервуара на прочность / Л. Р. Сайфуллина, Н. И. Садыков, Д. А. Русских // Вестник современных исследований. – 2018. – № 11 (26). – С. 551–554.

8. Способы повышения жесткости емкостей для перевозки нефтепродуктов автомобильным транспортом / С. А. Яковлев, М. М. Замальдинов, Д. Е. Молочников, М. Ю. Дудиков // Достижения техники и технологий в АПК : материалы Международной научно-практической конференции (Ульяновска, 15 ноября 2018 г.). – Ульяновск : Ульяновский ГАУ, 2018. – С. 355–360.

9. Молочников, Д. Е. К вопросу определения ресурса топливных фильтров / Д. Е. Молочников // Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса : материалы III Международной научно-практической конференции, в рамках 3-го Международного Научного форума Донецкой Народной Республики (Донецк, 25–26 мая 2017 г.) / Донецкая академия транспорта ; ГУ «Институт Экономических Исследований». – Донецк : Донецкая академия транспорта, 2017. – С. 48–50.

D.E. Molochnikov, S.A. Yakovlev

Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

EQUIVALENT LOADING MODES OF TANK WALLS

The article considers a mathematical model of deformation of the walls of vertical tanks during draining and filling operations. The issues of the duration and mode of loading and unloading of the tank, as well as the durability of the tank for performing one loading cycle, are considered.

Reservoir, deformation, loading, cycle, resource.



С.П. Пантилеев, В.С. Мальшев
 Мурманский государственный технический университет

ПУТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ И ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Мировая энергетика расходует на работу холодильного оборудования колоссальное количество электроэнергии и топлива. При этом практически не используется естественный холод, которым так «богата» Россия. Идеальным способом консервации и транспортировки холода и воды является пищевой лед. В работе предлагается технология производства, хранения и транспортировки льда и его использование в южных регионах страны, где работа систем кондиционирования требует огромных расходов электроэнергии и одновременно испытывается дефицит питьевой воды.

Естественный холод, пищевой лед, производство и хранение, транспортировка, рациональное использование, экономический эффект.

Энергетический мировой кризис и борьба с потеплением заставляют заниматься развитием альтернативной энергетики. В энергетических балансах развитых стран расход электроэнергии на холодильное оборудование составляет 15...20 %, а затраты топлива на производство искусственного холода оцениваются величиной порядка 0,9–1.1 млрд. т.у.т. [1]. Кроме того, уже сейчас в мире ощущается значительный дефицит питьевой воды. По нашему мнению, идеальным способом консервации и транспортировки холода и воды является производство пищевого льда. Запасы пресной воды и наличие огромных территорий с максимальными морозами, по которым на север текут такие полноводные реки, как Северная Двина, Печора, Обь, Енисей и Лена, делают Россию потенциально конкурентоспособной в экспорте пищевого льда. Мы полагаем, не стоит поворачивать реки на юг, а лучше организовать непрерывные потоки пищевого льда, которые позволят обеспечить южные регионы и холодом и водой.

Для производства пищевого льда, как правило, используется специальная холодильная техника и почти забыто применение естественного холода [2].

Для внедрения устройств с использованием естественного холода наиболее подходит Республика Саха (Якутия), которая является самым холодным регионом в мире с постоянно проживающими людьми. Почти вся ее территория – это вечная мерзлота многолетнемерзлых грунтов. В Якутии в настоящее время существуют склады-ледники для хранения продуктов, которые имеют явно выраженные конструктивные и технологические недостатки, но их вполне можно использовать и для хранения упакованного пищевого льда перед его отправкой потребителю [3]. Якутия, таким образом, является наилучшим регионом Земли, где можно было бы использовать естественный холод для получения огромных количеств пищевого льда, который с минимальными энергетическими затратами можно длительно

хранить в складах, оборудованных в многолетнемерзлых грунтах [4]. К сожалению, существующая транспортная инфраструктура Республики не позволяет в настоящее время реализовать этот потенциал. Но процесс может быть оперативно выполнен на европейском севере России – в Вологодской, Архангельской, Мурманской областях, а также в республиках Коми и Карелии.

В качестве примера рассмотрим проект производства льда в Мурманской области и его транспортировка в Крым, например в Севастополь. В качестве заказчика выступит гостиничное хозяйство Севастополя.

Оправдано применение льда может быть только в случае, если получаемая из него вода будет высшего качества и может быть реализована по цене не менее 20 рублей за 1 литр. Для примера, рассмотрим гостиничный комплекс с номерами для проживания 100 человек. При принятой средней норме потребления питьевой воды в сутки на одного проживающего (3 л) суточный расход на гостиницу составит 300 литров, а месячная норма 9000 литров или 9 тонн льда. Кроме получения 1 л холодной питьевой воды с температурой 8 °С один пакет со льдом весом 1 кг, доставленный в Севастополь и используемый в системе кондиционирования гостиницы, позволит охладить 28 м³ воздух с 28 °С до 18 °С [5].

Для гостиниц класса 3 звезды площадь номера должна составлять:

- одноместного 12 м² (допускается уменьшение площади на 10 %);
- двухместного 15 м² (допускается уменьшение площади на 10 %).

Примем, что половина жильцов проживают в двухместных номерах (25 шт). Тогда при высоте потолков в 2,5 м общий охлаждаемый объем жилых помещений гостиницы составит $V_{об} = 2,5(50 \cdot 12 + 25 \cdot 15) = 2437 \text{ м}^3$, что потребует суточный расход льда на гостиницу 87 кг.

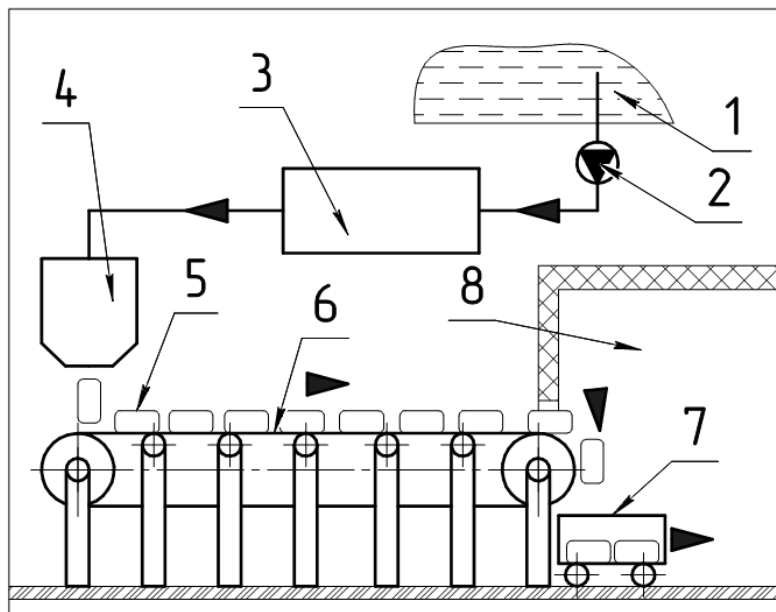


Рис. 1. Схема производства льда при использовании естественного холода: 1 – водоем с пресной водой; 2 – насос подачи воды; 3 – установка водоподготовки; 4 – разливно-упаковывающий автомат; 5 – упакованный пакет с водой; 6 – транспортер; 7 – тележка с упакованным льдом; 8 – склад упакованного льда

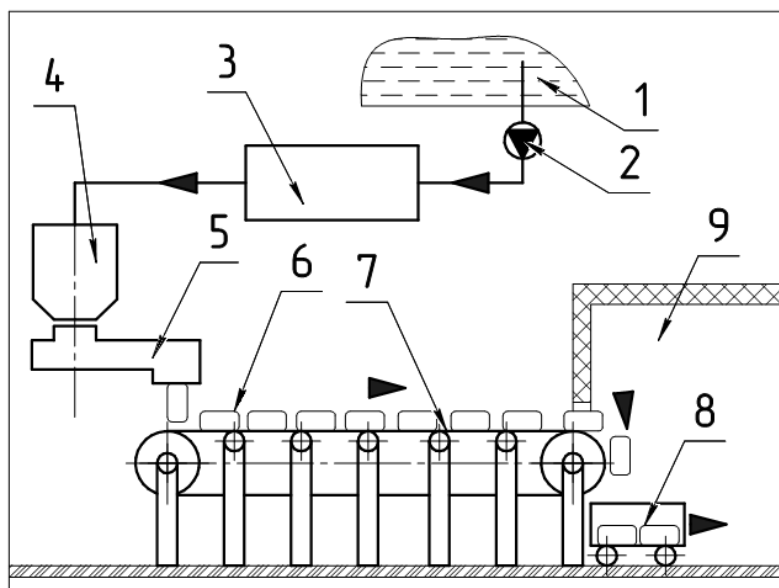


Рис. 2. Схема производства льда по второму варианту: 1 – водоем с пресной водой; 2 – насос подачи воды; 3 – установка водоподготовки; 4 – льдогенератор с холодильной машиной; 5 – устройство для прессования и упаковки готового льда; 6 – пакет со льдом; 7 – транспортер; 8 – тележка с упакованным льдом; 9 – склад упакованного льда

Рассмотрим технические и экономические аспекты реализации этого проекта. Попробуем оценить капитальные вложения на производство льда для двух вариантов реализации:

- 1) при использовании естественного холода (рис. 1);
- 2) при использовании льдогенератора с холодильной машиной (ХМ) (рис. 2).

Для решения поставленной задачи пригоден только упакованный лед высокого качества. Все используемые способы производства льда требуют специальной холодильной техники (льдогенераторов), потребляющих электрическую энергию в холодильном цикле. При практически максимальном холо-

дильном коэффициенте холодильной машины (ХМ) $\epsilon=4$ на превращение 1 кг воды с начальной температурой $t_1=5^\circ\text{C}$ в лед с температурой $t_2=-10^\circ\text{C}$ без учета тепловых потерь потребуется расход электрической энергии [6]:

$$Q_{\text{ХМ1}}=1[c_{\text{в}}(t_1-0)+r+c_{\text{л}}(0-t_2)]/K=[4,19(5-0)+334+2,05(0+10)]/4=93,86 \text{ кДж},$$

где $c_{\text{в}}=4,19 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ – теплоемкость воды;
 $r=334 \text{ кДж}/\text{кг}$ – теплота кристаллизации льда;
 $c_{\text{л}}=2,05 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ – теплоемкость льда.

Тогда требуемая мощность холодильной установки для производства льда с расходом $G_{\text{л}}=1 \text{ кг}/\text{с}$ составит $N_{\text{xy}}=93,86 \text{ кВт}$.

Основными элементами схемы с использованием естественного холода (рис. 1) являются установка водоподготовки 3, разливно-упаковывающий автомат 4 и транспортер 6.

При той же льдопроизводительности требуемая мощность установок водоподготовки и разливно-упаковочного автомата составит 26,1 кВт, а потребляемая электроэнергия 18 850 кВт·ч, что при стоимости 1 кВт·ч 3 рубля обойдется в 56 550 рублей

Второй вариант отличается от первого наличием льдогенератора с холодильной машиной, отсутствием разливно-упаковочного автомата. Вместо последнего дополнительно предложено использовать устройство для прессования и упаковки готового льда.

При использовании 2-го варианта дополнительные затраты энергии на холодильную машину для производства 1 кг льда составят $93,86/3600=0,026$ кВт·час. При цене 1 кВт·ч 3 рубля расходы на выработку 1 кг льда составят 7,82 копейки. За месяц при $G_{л}=1$ кг/с будет изготовлено 2600 тонн льда и израсходовано 67 392 кВт·ч электроэнергии, что обойдется в 202 176 рублей.

Таким образом, при производстве льда в льдогенераторе расходы электроэнергии на производство льда в 4,6 раза выше, чем при использовании естественного холода, а экономия средств достигнет 202 тысячи рублей.

На российском рынке 1 кг льда продается за 25 рублей. Огромная составляющая в этой цене – затраты на доведения воды до необходимого качества, расходы на упаковку с транспортировкой, амортизационные отчисления за оборудование, а также эксплуатационные затраты.

К примеру, льдогенератор Geneglace F2000 ABF производительностью 2083 кг/ч (0,58 кг/с) поставляется за 6 млн 150 тыс. рублей. Для наших условий необходимо применить два таких аппарата, общей стоимостью вместе с объединяющей схемой и арматурой в пределах 14 млн рублей.

Стоимость автомата розлива и упаковки воды в первом варианте 2 524 533 рублей.

Стоимость упаковочной машины для упаковки льда в полиэтиленовую пленку для второго варианта – 9 029 100 рублей.

Во всех рассматриваемых нами вариантах необходимо использовать питьевую воду, соответствующую СанПиН 2.1.4.1074-01. Такое качество воды может обеспечить автономная установка Валдай-ВПУ-4 для подготовки питьевой воды в утепленном модуле. Производительность установки 4 м³/ч, вполне обеспечивает требуемые потребности. Электрическая мощность установки составляет 14,4 кВт, а его цена – 12 млн рублей.

Стоимость воды естественных водоемов [7], используемой для коммерческих нужд, взимается с налога, который в каждом регионе и для каждого водного объекта свой. Например, для реки Лена ставка оплаты за 1000 кубометров при заборе из поверхностных источников принята в 252 рубля, а с 2021 года введен повышающий коэффициент 2,66.

При выработке 2600 т льда и утечках в 20 % за использованную воду необходимо заплатить

$$Z_{\text{вод}}=1,2 \cdot 252 \cdot 2,66 \cdot 2600/1000=2091 \text{ руб.}$$

Обслуживание установки в первом варианте проводят 4 оператора с месячной зарплатой в 110 000 рублей. Общие затраты на зарплату $Z_{\text{ЗП}}$ составят 440 тыс. рублей.

Себестоимость работ за тонну по первому варианту составит 688 руб., а по второму – 1036 рублей.

Себестоимость производства льда в обоих вариантах много меньше рыночной 0,79 \$/кг (59 250 руб.): в варианте 1 себестоимость меньше в 86 раз, а в варианте 2 – в 57 раз.

Наиболее выгодна транспортировка льда железнодорожным транспортом. Так, доставка тонны продукции рефрижератором от Мурманска до Севастополя обходится в 1665,38 рубля за тонну, т.е. 1,66 рубля за 1 кг. Таким образом, с учетом доставки себестоимость 1 кг льда в Севастополе для первого варианта составит 2,35 рублей, а для второго – 2,70 рублей.

Предложенная схема работы системы кондиционирования воздуха и системы питьевой воды в гостинице приведена на рисунке 3. Теплоизолированную емкость со льдом 1 желательно располагать выше узлов потребления воды 4. Этим будет обеспечена естественная циркуляция воды через охладители воздуха 3.

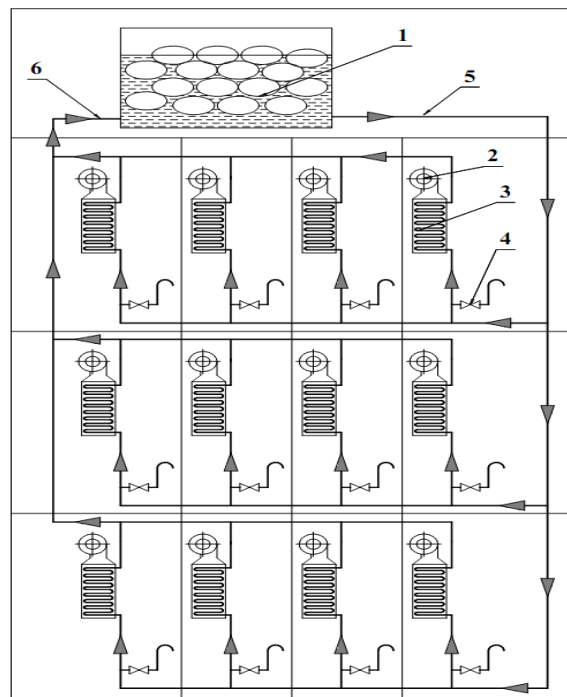


Рис. 3. Схема работы системы кондиционирования воздуха и системы питьевой воды:

- 1 – емкость с водой и льдом; 2 – вентилятор;
- 3 – охладитель воздуха; 4 – узел потребления воды;
- 5 – линия подачи холодной воды;
- 6 – линия подачи теплой воды

На каждый этаж гостиницы питьевая вода из емкости 1 самотеком по линии 5 подается к узлам потребления воды 4 и проходя через охладители воздуха 3, нагревается и по линии 6 направляется в емкость 1. Движение воды обеспечивается благодаря естественной циркуляции за счет разности плотностей теплой и холодной воды. Вентилятор 2 запускается, когда температура воздуха в охраняемом помещении поднимется выше требуемой величины. Теплая вода в емкости 1 по мере поступления будет «топить» лед.

Расход воды требует соответствующего пополнения емкости льдом. При полезном объеме емкости в 10 м^3 ($2,5 \times 2 \times 2$) при ее опорожнении на 70 % заправку до полного объема необходимо проводить через каждые 23 дня ($1\,987\,200 \text{ с}$) по 7 тонн льда.

Средняя тепловая мощность охладителя 3 (количество в гостинице $n=100$) составит
$$N_{\text{lox}} = 7000 \cdot (r + c_v \cdot \Delta t) / (n \cdot \tau) = (7000 \cdot 355) / (100 \cdot 1987200) = 0,018 \text{ кВт}.$$

Суточный эффект от использования пакетированного льда стоимостью 2,35 рубля за 1 кг для гостиницы составит: 7,89 рубля за 1 литр. Суточный «выигрыш» гостиницы – 1662 рубля, а за месяц – 49 860 рублей.

Суточное снижение затрат на кондиционирование при стоимости 1 кВт·час в Севастополе 3,6 рубля составит 2338 рубля, а месячное 70 140 рублей. Таким образом, положительный баланс составит 1787 рублей в сутки и 53 632 рубля в месяц.

При этом обеспечивается охлаждение воздуха в гостинице с $25 \text{ }^\circ\text{C}$ до $20 \text{ }^\circ\text{C}$ с кратностью циркуляции воздуха 3,36. Производство льда эффективно и в зимний период, если применять в системе теплоснабжения и ГВС теплонасосную установку (ТНУ) с льдогенератором, где «греющим» компонентом в испарителе является вода и образующийся лед и при этом используется теплота фазового перехода. Так, для изменения температуры 1 кг воды на $1 \text{ }^\circ\text{C}$ требуется 4,19 кДж. А воду в жидком состоянии в отопительный период можно охладить только на $3 \dots 5 \text{ }^\circ\text{C}$, что дает всего $12,6 \dots 21 \text{ кДж}$ теплоты с 1 кг воды. Теплота фазового перехода 1 кг льда составляет уже 334 кДж, что в 16 раз больше [7, 9]. Соответственно, уменьшаются и затраты энергии на перекачивание воды через испаритель теплового насоса.

Месячное производство 2600 т и его доставка позволит обеспечить порядка 300 гостиниц Севастополя питьевой водой высокого качества.

Лед может быть использован для снижения затрат на кондиционирование в летний период, а также в зимний отопительный период за счет использования в ТНУ потенциала теплоты фазового перехода.

Вложение средств в производство льда на севере и его транспортировка в южные регионы – перспективное направление инвестирования, позволяющее эффективно решать проблемы южных регионов с питьевой водой и обеспечивающее снижение потребления электроэнергии в летнее время на системы кондиционирования, а в зимние месяцы за счет использования теплоты фазового перехода в теплонасосных устройствах систем теплоснабжения.

S.P. Pantileev, V.S. Malyshev
Murmansk State Technical University

WAYS OF NATURAL COLD RATIONAL USE TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION

The world energy industry consumes a colossal amount of electricity and fuel for the operation of refrigeration equipment. At the same time the natural cold, which Russia is so “rich” in, is practically not used. The ideal way to preserve and transport cold and water is food service ice. The paper describes a technology for the production, storage and transportation of ice and its use in the southern regions of the country, where the operation of air conditioning systems requires huge energy consumption and at the same time there is a shortage of drinking water.

Natural cold, food ice, production and storage, transportation, rational use, economic effect.

Литература

1. Гаряев, А. Б. Оценка масштабов и перспектив использования холода окружающей среды для экономии энергии / А. Б. Гаряев, Ю. В. Коротке. – DOI: 10.24160/1993-6982-2018-4-58-70 // Вестник МЭИ, 2018. – № 4. – С. 58–70. – DOI: 10.24160/1993-6982-2018-4-58-70.
2. Система охлаждения с использованием естественного холода. – URL: <http://www.thermonews.ru> (дата обращения: 01.11.2016). – Текст : электронный.
3. Зверев, С. С. Холодильник-аккумулятор естественного холода в условиях Якутии / С. С. Зверев // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 10. – С. 103–108.
4. Различные области применения холода / под редакцией А. В. Быкова. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 272 с.
5. Тарасова, Е. В. Системы кондиционирования воздуха с сезонными аккумуляторами естественного холода : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тарасова Елена Владимировна. – Тюмень : Дальневосточный федеральный университет, 2013. – 21 с.
6. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / О. Л. Данилов [и др.]. – Москва : МЭИ, 2010. – 422 с.
7. Энергосберегающая технология заготовки естественного льда на молочных фермах [Текст] / Г.С. Коровин, В. И. Квашенников, А. П. Козловцев, В. А. Шахов // Научное обозрение. – 2015. – № 4. – С. 17–22.
8. Разработка систем управления энергоэффективностью и направлений развития возобновляемой энергетики в условиях Арктической зоны РФ: отчет о НИР / Центр физико-технических проблем энергетики Севера (ЦФТПЭС) Кольского научного центра РАН ; руководитель Минин В. А., ответственный исполнитель Кузнецов Н. М. Апатиты, 2018. – 221 с. № государственной регистрации НИОКТР АААА-А17-117020110072-0.
9. Малышев, В. С. Способ теплоснабжения с получением товарно водяного льда / В. С. Малышев, С. П. Пантеев // Точная наука. – 2021. – Вып. 120. – URL: <https://idpluton.ru/wp-content/uploads/tv120.pdf> (дата обращения: 06.04.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Текст : электронный.



ОТВЕСНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ РАСЧЕТА БАЛЛИСТИКИ ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ МАНЕВРЕ

Задача о скорости, времени и ускорении нормального падения тела на поверхность планеты при отсутствии атмосферы сводится к решению дифференциального уравнения второго порядка, которое решается стандартным методом. В работе получено временное уравнение движения нормально падающего на поверхность планеты тела при отсутствии атмосферы, а также временные уравнения его скорости и ускорения. Полученные результаты могут быть полезны при расчетах пассивного гравитационного маневра при межпланетных полетах и расчетах отвесного падения небольших небесных тел и отработанных элементов конструкций космических аппаратов.

Планета, тело, уравнение движения, скорость, ускорение, масса, расстояние.

В основе гравитационных маневров при межпланетных полетах лежит режим движения под действием силы тяготения небесных тел [1, 2].

Если перемещение тела при падении пренебрежимо мало по сравнению с расстоянием до центра тяготения, то ускорение свободного падения является практически неизменным. При этом задача установления параметров падения не представляет трудности. Далее этот случай не рассматривается.

Задача о скорости и времени падения тела

Падающее в вакууме тело имеет ускорение

$$a = \frac{d^2 r}{dt^2} = -G \frac{M}{r^2}, \quad (1)$$

где G – постоянная, M – масса планеты, r – мгновенное расстояние между телом и центром планеты. Исходное расстояние равно R . Знак « \rightarrow » обусловлен противоположными направлениями векторов \mathbf{a} и \mathbf{r} . Масса тела пренебрежимо мала по сравнению с M .

Дифференциальное уравнение (1) решается следующим образом.

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dt} &= v(r), \quad \frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{dv}{dt}, \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{dv}{dr} \frac{dr}{dt} = \frac{dv}{dr} v, \\ \frac{d^2 r}{dt^2} &= \frac{dv}{dr} v, \\ \frac{dv}{dr} v &= -G \frac{M}{r^2}, \quad v dv = -GM \frac{dr}{r^2}, \\ \int_0^v v dv &= -GM \int_R^r \frac{dr}{r^2}, \quad \frac{v^2}{2} = GM \left. \frac{1}{r} \right|_R^r, \\ \frac{v^2}{2} &= GM \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

$$v = -\sqrt{2GM} \sqrt{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}}. \quad (3)$$

Знак « \rightarrow » обусловлен той же причиной, что и выше.

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dt} &= -\sqrt{2GM} \sqrt{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}}, \\ \sqrt{\frac{r}{R-r}} dr &= -\sqrt{\frac{2GM}{R}} dt. \end{aligned} \quad (4)$$

Интеграл левой части имеет вид:

$$\int \sqrt{\frac{a+x}{b-x}} dx.$$

Пусть

$$\frac{a+x}{b-x} = t^2.$$

Тогда

$$a+x = t^2 b - t^2 x, \quad x(1+t^2) = t^2 b - a,$$

$$x = \frac{t^2 b - a}{1+t^2},$$

$$dx = \frac{2tb dt}{1+t^2} - \frac{t^2 b - a}{(1+t^2)^2} 2t dt,$$

$$\begin{aligned} \int \sqrt{\frac{a+x}{b-x}} dx &= \int t \left[\frac{2tb}{1+t^2} - \frac{t^2 b - a}{(1+t^2)^2} 2t \right] dt = \\ &= \int \frac{2t^2 b}{1+t^2} dt - \int \frac{t^2 b - a}{(1+t^2)^2} 2t^2 dt = \\ &= 2b \int \frac{1+t^2 - 1}{1+t^2} dt - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -2b \int \frac{t^4 - t^2 a/b + 2t^2 - 2t^2 + 1 - 1}{(1+t^2)^2} dt = \\
& = 2b \int dt - 2b \int \frac{1}{1+t^2} dt - 2b \int dt + \\
& \quad + 2b \int \frac{t^2 a/b + 2t^2 + 1}{(1+t^2)^2} dt = \\
& = -2b \int \frac{1}{1+t^2} dt + 2b(a/b+2) \times \\
& \quad \times \int \frac{t^2 + 1/(a/b+2) + 1 - 1}{(1+t^2)^2} dt = \\
& = -2b \operatorname{arctg} t + 2b(a/b+2) \int \frac{dt}{1+t^2} - \\
& \quad - 2b(a/b+2) \frac{a+b}{a+2b} \int \frac{dt}{(1+t^2)^2} = \\
& = -2b \operatorname{arctg} t + 2b(a/b+2) \operatorname{arctg} t - \\
& - 2b \frac{a+2b}{b} \frac{a+b}{a+2b} \frac{1}{2} \left(\frac{t}{1+t^2} + \operatorname{arctg} t \right) + C = \\
& = -2b \operatorname{arctg} t + 2b(a/b+2) \operatorname{arctg} t - \\
& \quad - \frac{(a+b)t}{1+t^2} - (a+b) \operatorname{arctg} t + C = \\
& = (a+b) \left(\operatorname{arctg} t - \frac{t}{1+t^2} \right) + C = \\
& = (a+b) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{a+x}{b-x}} - \\
& \quad - (a+b) \frac{\sqrt{\frac{a+x}{b-x}}}{1 + \frac{a+x}{b-x}} + C = \\
& = (a+b) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{a+x}{b-x}} - \\
& \quad - (a+b) \frac{b-x}{a+b} \sqrt{\frac{a+x}{b-x}} + C = \\
& = (a+b) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{a+x}{b-x}} - \\
& \quad - \sqrt{(b-x)(a+x)} + C.
\end{aligned}$$

Искомый интеграл равен

$$\begin{aligned}
& \int \sqrt{\frac{a+x}{b-x}} dx = (a+b) \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{a+x}{b-x}} - \\
& \quad - \sqrt{(b-x)(a+x)} + C. \quad (5)
\end{aligned}$$

Продолжение решения исходной задачи

Интегрирование дифференциального уравнения (4) в соответствии с (5) дает

$$\begin{aligned}
& \int_R^r \sqrt{\frac{r}{R-r}} dr = -\sqrt{\frac{2GM}{R}} \int_0^t dt, \\
& \left[R \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{r}{R-r}} - \sqrt{r(R-r)} \right]_R^r = \\
& = -\sqrt{\frac{2GM}{R}} \int_0^t dt, \\
& R \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{r}{R-r}} - R \frac{\pi}{2} - \sqrt{r(R-r)} = \\
& = -\sqrt{\frac{2GM}{R}} t, \\
& R \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{r}{R-r}} \right) + \sqrt{r(R-r)} = \\
& = \sqrt{\frac{2GM}{R}} t. \quad (6)
\end{aligned}$$

Это решение дифференциальных уравнений (4) и (1) является уравнением движения нормально падающего тела.

Из выражения (2) следует:

$$r = \frac{2GMR}{2GM + Rv^2}.$$

Подстановка этого выражения в (6) дает:

$$\begin{aligned}
& R \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\frac{2GMR}{2GM + Rv^2}}{R - \frac{2GMR}{2GM + Rv^2}}} \right) + \\
& + \sqrt{\frac{2GMR}{2GM + Rv^2} \left(R - \frac{2GMR}{2GM + Rv^2} \right)} = \\
& = \sqrt{\frac{2GM}{R}} t, \\
& R \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{2GMR}{2GMR + R^2 v^2 - 2GMR}} \right) + \\
& + \sqrt{\frac{2GMR(2GMR + R^2 v^2 - 2GMR)}{(2GM + Rv^2)^2}} = \\
& = \sqrt{\frac{2GM}{R}} t,
\end{aligned}$$

$$\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2GM}R}{Rv} + \frac{v\sqrt{2GM}R}{2GM + Rv^2} = \\ = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \frac{t}{R}.$$

Это временная функция скорости.

Для получения временной функции ускорения следует (1) подставить в (6).

$$R \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{(GMa^{-1})^{1/2}}{R - (GMa^{-1})^{1/2}}} \right) + \\ + \sqrt{(GMa^{-1})^{1/2} (R - (GMa^{-1})^{1/2})} = \\ = \sqrt{\frac{2GM}{R}} t.$$

В соответствии с (6) период падения тела на поверхность планеты равен

$$R \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R_M}{R - R_M}} \right) + \sqrt{R_M (R - R_M)} = \\ = \sqrt{\frac{2GM}{R}} T, \quad (7)$$

где R_M – радиус планеты.

В соответствии с (3) скорость тела у поверхности планеты равна

$$V = -\sqrt{2GM} \sqrt{\frac{1}{R_M} - \frac{1}{R}}. \quad (8)$$

Пример

В качестве планеты рассматривается Луна: $R_M = 1,737 \cdot 10^6$ м, $M = 7,348 \cdot 10^{22}$ кг. $G = 6,674 \cdot 10^{-11}$ м³/(кг·с²). $R = 10^7$ м, что соответствует высокой почти круговой околополярной орбите вокруг Луны.

В соответствии с (7)

$$10^7 \left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1,737 \cdot 10^6}{(10 - 1,737) \cdot 10^6}} \right) +$$

$$+ \sqrt{1,737 \cdot 10^6 (10 - 1,737) \cdot 10^6} = \\ = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 7,348 \cdot 10^{22}}{10^7}} T.$$

Период падения тела на поверхность Луны равен $T = 1,535 \cdot 10^4$ с = 2,558 · 10² мин. = 4,253 ч.

В соответствии с (8) скорость тела у поверхности Луны равна

$$V = -\sqrt{2 \cdot 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 7,348 \cdot 10^{22}} \times \\ \times \sqrt{\frac{1}{1,737 \cdot 10^6} - \frac{1}{10^7}} = 2160 \text{ м/с.}$$

Полученные результаты могут быть полезны при расчетах пассивного гравитационного маневра при межпланетных полетах [3, 4] и расчетах отвесного падения небольших небесных тел [16] и отработанных элементов конструкций космических аппаратов [5].

Литература

1. Лихачев, В. Н. Метод оценки направления гравитационного ускорения на активном участке посадки КА на поверхность Марса / В. Н. Лихачев, В. П. Федотов // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. – 2016. – № 1 (31). – С. 3–6.
2. Тюменков, Г. Ю. Моделирование периодических орбит для тройных систем с ньютоновским гравитационным взаимодействием / Г. Ю. Тюменков, А. Ю. Песенко, Д. А. Богданович // Проблемы физики, математики и техники. – 2016. – № 4 (29). – С. 27–30.
3. Попов, И. П. Расчетные системы отсчета при относительном движении космических объектов / И. П. Попов // Инженерная физика. – 2019. – № 3. – С. 40–43.
4. Попов, И. П. Выбор систем отсчета в задачах управления движущимися инертными объектами / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 1 (3). – С. 20–22.
5. Попов, И. П. Электромагнитный маховик для ориентирования орбитальных объектов / И. П. Попов // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2019. – № 2. – С. 15–17.

I.P. Popov
Kurgan State University

STEERING COMPONENT OF BALLISTICS CALCULATION IN GRAVITATIONAL MANEUVER

The problem of the speed, time and acceleration of the normal fall of a body on the planet's surface in the absence of an atmosphere is reduced to solving a second-order differential equation which is solved with the standard method. In this paper, the time equation of motion of a body normally falling on the surface of the planet in the absence of an atmosphere, as well as the time equations of its speed and acceleration are obtained. The results obtained can be useful in calculating passive gravitational maneuver during interplanetary flight and the normal incidence of small celestial bodies and the spent structural elements of spacecraft.

Planet, body, equation of motion, speed, acceleration, mass, distance.



С.В. Яняк, И.И. Комиссарова
Вологодский государственный университет

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ТИТАНА СО СПЕЦИАЛЬНОЙ СТАЛЬНОЙ СВЯЗКОЙ

Анализ структуры спеченных твердых сплавов выполнен методами металлографического, рентгеноструктурного фазового, электронно-микроскопического фрактографического анализа. Установлена гетерогенная структура с округлыми зернами карбида титана, частично сросшимися в агрегаты и каркас, промежутки между которыми заполнены стальной связкой. Стальная связка имеет двухфазную структуру: высоколегированный феррит и интерметаллидную χ -фазу. Границы между карбидами и связкой имеют прочность, сопоставимую с карбидом титана.

Твердый сплав, карбид титана, связка, специальная сталь, структура, фазовый состав, теплостойкость.

Создание новых материалов связано с решением комплекса задач: задание уровня свойств, выбор состава (с ограничениями), выбор структуры, выбор технологии и режимов изготовления материала. Анализ структуры необходим, если существуют разные структурные состояния, существенно влияющие на свойства материала.

При разработке безвольфрамового режущего твердого сплава на основе карбида титана со стальной связкой для получения приемлемого уровня режущих свойств необходимо обеспечить высокую теплостойкость сплава. Высокая теплостойкость карбидной основы сплава сомнений не вызывает. Прослойки стальной связки при недостаточной ее теплостойкости под воздействием высокой температуры (при резании твердым сплавом – 700–800 °С) разупрочняются, создают между твердыми карбидными зернами поверхности сдвиговой пластической деформации, которая приводит к пластическому течению, т.е. к катастрофическому износу и разрушению такого материала. Поэтому первоочередное внимание должно быть уделено высокой теплостойкости стальной связки (как до, так и после спекания).

В наших экспериментально-аналитических работах было показано, что твердые сплавы на основе карбида титана с железной связкой [1] имеют достаточно высокий уровень твердости (до HRA90,5, позволяющий лезвию при статическом нагружении эффективно сопротивляться пластической деформации), пониженный уровень прочности при изгибе (500–700 МПа, тем не менее достаточный для сопротивления разрушению лезвия при чистовом резании). Примерно такое же сочетание твердости и прочности при изгибе показали сплавы на основе карбида титана со связками из сталей карбидного и аустенитного классов [2]. Железная и использованные стальные связки не обеспечивают твердым сплавам на основе карбида титана необходимого уровня механических и режущих свойств [3, 4] из-за слабого взаимодействия с карбидом титана и недостаточной теплостойкости.

Теплостойкость стали обеспечивается составом ее легирующих компонентов и структурой. На основе информационно-патентного поиска и анализа диаграмм состояния металлов-компонентов с железом нами сделан вывод: среди всех возможных структур наиболее высокую теплостойкость стали обеспечивает структура с матрицей из высоколегированного феррита.

Повысить уровень взаимодействия при спекании стальной связки с карбидом титана (тем самым уменьшить пористость сплава и повысить прочность межфазовых границ) возможно с помощью сильных карбидообразующих металлов (молибдена, ванадия, титана), способных растворяться в карбиде титана.

Нами были изучены механические свойства, структура и режущие свойства твердых сплавов на основе карбида титана с железо-молибденовой связкой, фактически с двухкомпонентной сталью ферритного класса [5–7]. Уровень механических свойств этих сплавов оказался выше, чем у сплавов с железной связкой (твердость HRA90–92, прочность при изгибе 800–900 МПа), однако режущие свойства еще недостаточны для промышленного применения.

Наиболее высокую теплостойкость стали (по нашим представлениям) обеспечивает структура с матрицей из высоколегированного феррита и с дисперсной интерметаллидной χ -фазой, когерентно связанной на уровне кристаллических решеток с матрицей. Исходя из этих положений нами была смоделирована структура и рассчитано содержание легирующих компонентов в специальной стали для связки с карбидом титана (высоколегированный феррит + χ -фаза). Состав стали: 10–15 % хрома, 10–14 % марганца, 6–10 % титана. Специальная сталь получила обозначение по составу – сталь X14Г10Т6. Методом распыления в аргоне был изготовлен стальной порошок с размером гранул не более 100 мкм (отсевом) с химическим составом: 15,23 % хрома (содержание несколько завышено); 9,9 % марганца; 5,74 % титана (содержание занижено). Содержание кислоро-

да в стали (прежде всего, из-за окисления хрома и титана), к сожалению, не определено ввиду отсутствия методики такого анализа. Ожидаемая теплостойкость 800–900 °С такой стали была подтверждена в наших работах [8, 9].

Как известно, при жидкофазном спекании происходят сложные диффузионные и бездиффузионные процессы (превращения), которые могут привести к существенным изменениям структуры материала и, как следствие, его свойств. По нашим представлениям, хром и марганец полностью должны остаться в составе стальной связки, титан из стали должен частично перейти в состав карбида титана (в узкой области гомогенности этого карбида). Таким образом, стальная связка должна в основном сохранить свой состав, структуру и, главное, теплостойкость.

Для исследования структуры и свойств были изготовлены образцы с содержанием карбида титана 50, 60, 70, 80, 85, 90 % по массе, остальное – сталь X14Г10Т6.

Изготовление твердосплавных образцов выполнено по технологии:

1) механическое смешивание и размол в 6-местной (т.е. в одинаковых условиях) вибрационной мельнице в среде этилового спирта до размера частиц не более 5 мкм;

2) сушка пульпы в вытяжном шкафу;

3) смешивание с 4-процентным раствором синтетического каучука в бензине;

4) сушка пульпы в вакуумном шкафу при 90 °С;

5) гранулирование смеси протиранием через сито 400 мкм;

6) прессование образцов на гидравлическом прессе с давлением 100 Мпа;

7) сушка образцов в вакуумном шкафу при 400 °С;

8) предварительное спекание в вакуумной печи при 800 °С;

9) маркировка образцов царапанием;

10) окончательное спекание в вакуумной печи при нескольких температурах для каждого сплава.

Исследование структуры выполнено методами:

- металлографического анализа на оптическом микроскопе «Neophot-2»;

- рентгеноструктурного фазового анализа на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2;

- металлографического и фрактографического анализа на электронном микроскопе «JSM-35»;

- микрорентгеноспектрального анализа на микроскопе «JSM-35» с приставкой: рентгеновским микроанализатором «Кевек».

Для металлографического анализа были изготовлены микрошлифы последовательной обработкой на чугунных и деревянных планшайбах алмазными пастами и суспензиями. Травление выполнялось солянокислым хлорным железом (для связки) и реактивом Мураками для карбидов. Пористость оценивалась на нетравленных шлифах.

Структуры всех сплавов, независимо от содержания карбида титана, имеют визуальное сходство: зерна карбида титана округлой формы, промежутки между зернами заполнены стальной связкой. При содержании карбида титана 70 % и более зерна частично объединяются (срастаются) в агрегаты или

сплошной карбидный каркас. Этот вид структуры твердых сплавов на основе карбида титана впервые обнаружил и описал изобретатель твердых сплавов (на основе разных карбидов с кобальтовой, никелевой и железной связками) Р. Киффер [10].

Округлая форма зерен объясняется простой кубической формой кристаллической ячейки карбида титана (типа CsCl). При перекристаллизации карбидов через жидкую фазу у зерен нет направлений или плоскостей преимущественного роста. В итоге образуются округлые поликристаллические зерна с весьма мелкими (в несколько периодов правильной кубической решетки) фасетками, между которыми нет когерентного сопряжения межатомных связей. Это приводит к пониженной прочности зерен карбида титана. Вследствие неравновесного структурообразования при охлаждении сплава с температуры спекания рост карбидных зерен не завершен (т.е. часть карбидов из-за прерывания диффузионных процессов «застревает» в стальной связке в виде микростерен).

Таким образом, структура сплавов TiC – сталь сильно зависит от режимов спекания (температуры спекания, выдержки при спекании и скорости охлаждения в области диффузионных превращений).

При заниженной температуре спекания (немного выше эвтектической 1400 °С для TiC – Fe):

1. Уменьшается количество жидкой фазы эвтектического происхождения. В сплавах с высоким содержанием карбида титана (80 % и более) расплава недостаточно для заполнения промежутков между зернами. Это приводит к резкому увеличению пористости сплава (рис. 1).

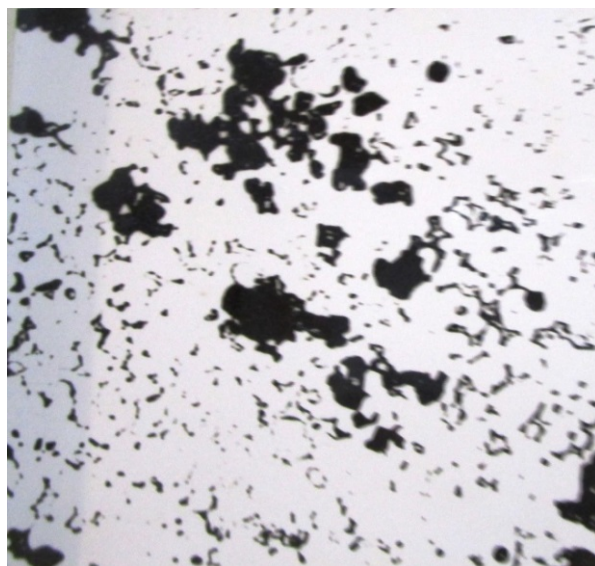


Рис. 1. Структура сплава 70 % TiC – сталь X14Г10Т6 после спекания при 1500 °С (не травлено), увеличение 1000

2. Уменьшается средний размер карбидных зерен (до 2 мкм при 1450 °С, до 3 мкм при 1500 °С) из-за снижения скорости перекристаллизации карбидов.

3. Следует ожидать ослабления взаимодействия стали с карбидом титана из-за уменьшения растворимости карбидообразующих компонентов стали (титана, хрома) в карбиде титана.

При завышенной температуре спекания (1650–1700 °С):

1. Увеличивается количество расплава за счет повышения растворимости карбида титана в железе. Пористость снижается.

2. Значительно увеличивается средний размер карбидных зерен (до 7 мкм при 1650 °С и 10 мкм при 1700 °С, рис. 2).

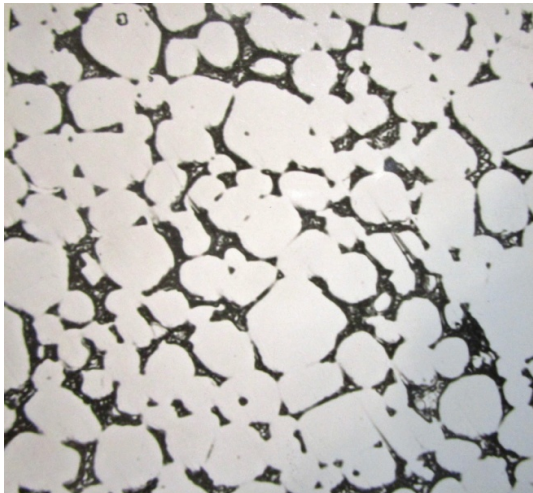


Рис. 2. Микроструктура сплава 70 % TiC – сталь X14Г10Т6 после спекания при 1700 °С, увеличение $\times 1000$

3. Следует ожидать усиления взаимодействия стали с карбидом титана и, соответственно, уменьшения содержания, прежде всего титана, в стальной связке. Это может привести к снижению твердости и теплоустойчивости стальной связки и сплава в целом.

Для каждого состава сплава устанавливалась оптимальная температура спекания по величине пористости (не более 2 %) и уровню механических свойств. Структуры, приведенные в данной работе, получены для сплавов при оптимальной температуре спекания.

В микроструктуре сплавов, спеченных при температуре 1600 °С (оптимальной для сплава 70 % TiC – сталь X14Г10Т6) средний размер карбидных зерен – 4 мкм (рис. 3).

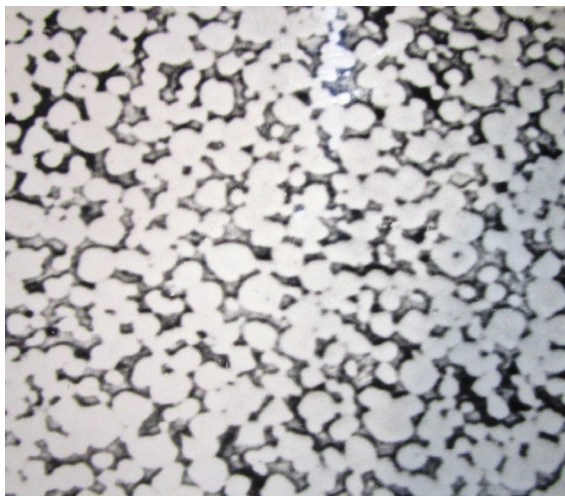


Рис. 3. Микроструктура сплава 70 % TiC – сталь X14Г10Т6 при оптимальной температуре спекания 1600 °С, увеличение $\times 1000$

В микроструктуре сплава 50 % TiC – сталь X14Г10Т6 находятся зерна карбида титана размером 2–3 мкм, преимущественно разделенные стальной связкой (рис. 4).

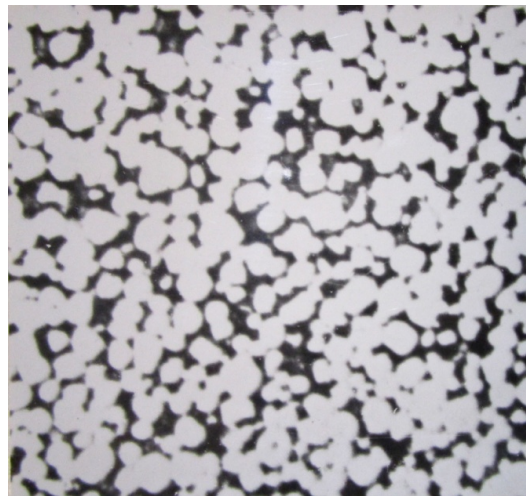


Рис. 4. Микроструктура сплава 50 % TiC – сталь X14Г10Т6 после спекания при 1450 °С, увеличение $\times 1000$

В микроструктуре сплава 90 % TiC – сталь X14Г10Т6 (рис. 5) карбидные зерна размером 8–10 мкм соединены контактными мостиками и в основном образуют карбидный каркас (скелет – по терминологии твердосплавного производства). Такая структура обеспечивает режущим твердым сплавам более высокую жесткость, твердость и теплоустойчивость в сравнении с карбидами, разъединенными связкой. По виду структуры можно предположить более высокие режущие свойства у сплавов, содержащих 80–90 % карбида титана.

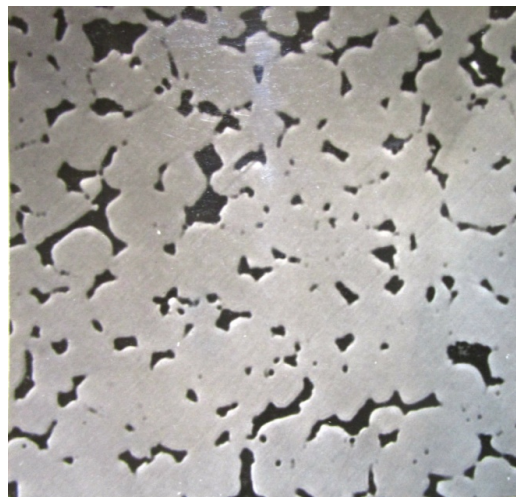


Рис. 5. Микроструктура сплава 90 % TiC – сталь X14Г10Т6 после спекания при 1650 °С, увеличение $\times 1000$

В микроструктуре сплава 50 % TiC – сталь X14Г10Т6 находятся зерна карбида титана размером 2–3 мкм, преимущественно разделенные стальной связкой (рис. 4). В микроструктуре сплава 90 % TiC – сталь X14Г10Т6 (рис. 5) карбидные зерна размером 8–10 мкм соединены контактными мостиками и в основном образуют карбидный каркас (скелет – по терминологии твердосплавного производства). Такая

структура обеспечивает режущим твердым сплавам более высокую жесткость, твердость и теплостойкость в сравнении с карбидами, разьединенными связкой. По виду структуры можно предположить более высокие режущие свойства у сплавов, содержащих 80–90 % карбида титана.

Рентгеноструктурный фазовый анализ выявил в спеченных сплавах TiC – сталь X14Г10Т6 две основные фазы: карбид титана (весь спектр линий совпадает с эталоном) и высоколегированный феррит (весь спектр линий сдвинут в сторону увеличения межатомных плоскостей (рис. 6–8). Отклонение линий феррита (плоскость 110 = 2,035А°) от линий эталона – железа (плоскость 110 = 2,010А°) – указывает на присутствие в феррите по принципу замещения примерно 5 % титана. У сплава с малым содержанием связки (90 % TiC – сталь) легирование титаном снижается примерно до 4 %. Только у сплава с наибольшим содержанием связки (50 % TiC – сталь) обнаружена (по наиболее интенсивной линии спектра) третья фаза – интерметаллидная χ -фаза с содержанием немного более 2 % в сплаве (4 % – в связке) – на пределе чувствительности метода. Низкое содержание χ -фазы в стальной связке вызвано малой скоростью диффузии атомов титана с большим атомным радиусом (1,45А°)

в кристаллической решетке железа (с атомным радиусом 1,27А°), поэтому режим охлаждения после спекания со скоростью 600–800 °С в час приводит к закалке стали X14Г10Т6, т.е. к образованию пересыщенного твердого раствора – высоколегированного феррита, из которого по механизму старения постепенно начинает выделяться χ -фаза.

Для справки: χ -фаза представляет собой интерметаллидное соединение, изоморфное α -марганцу, содержащее 59 % железо + марганец, 24 % хрома и 17 % титана, способное к когерентному сопряжению с ферритом (тем более с теми же легирующими компонентами).

Выделение χ -фазы из высоколегированного феррита убедительно подтверждается фазовым анализом распыленного (закаленного) порошка стали X14Г10Т6 (рис. 10) и порошка той же стали после отжига при температуре 1000 °С и охлаждения со скоростью 60 °С в час (рис. 11). После отжига степень легирования феррита уменьшилась с 6 до 4 % титана – судя по уменьшению межплоскостных расстояний (110) на 0,010А°. При этом выделилось большое количество (около 15 %) χ -фазы.

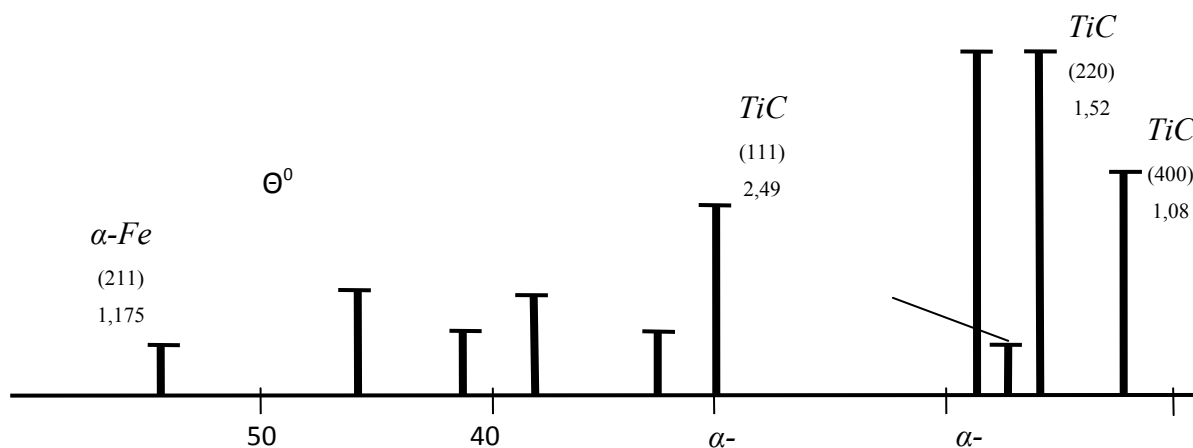


Рис. 6. Рентгенограмма сплава 50 % TiC – сталь X14Г10Т6

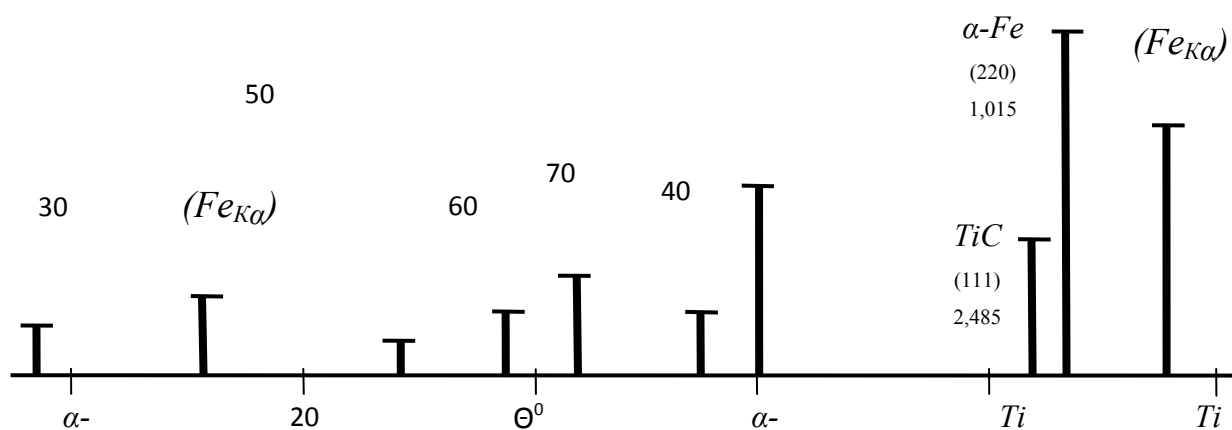


Рис. 7. Рентгенограмма сплава 70 % TiC – сталь X14Г10Т6

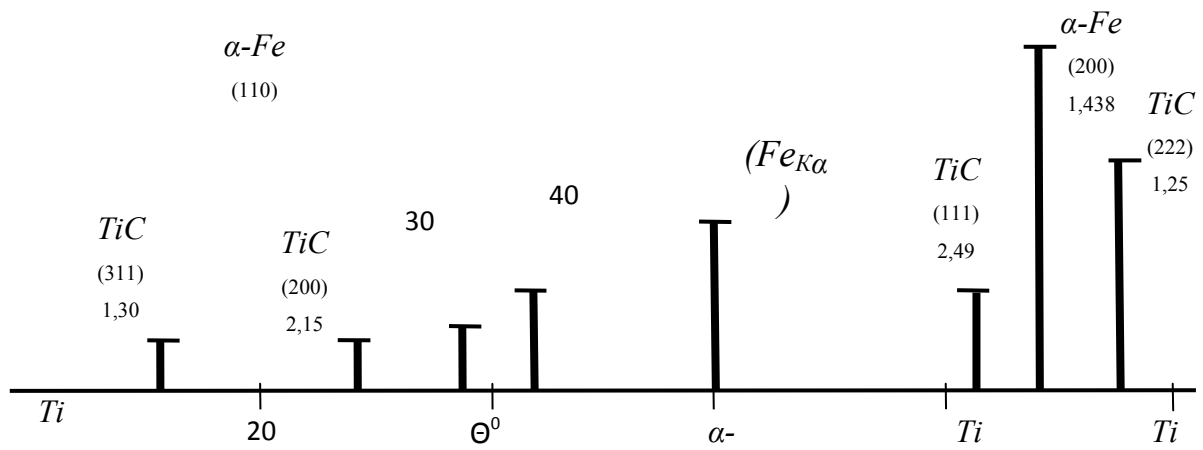


Рис. 8. Рентгенограмма сплава 90 % TiC – сталь X14Г10Т6

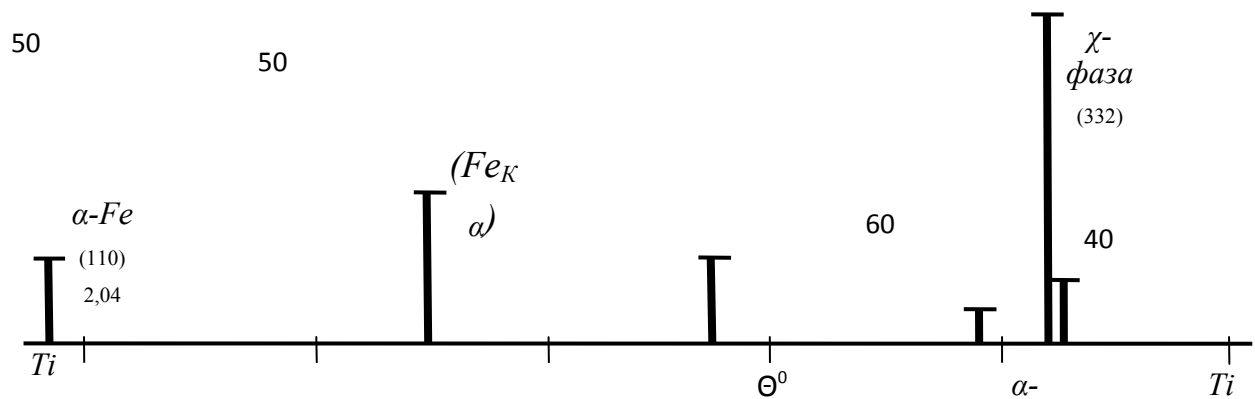


Рис. 9. Рентгенограмма распыленного порошка стали X14Г10Т6

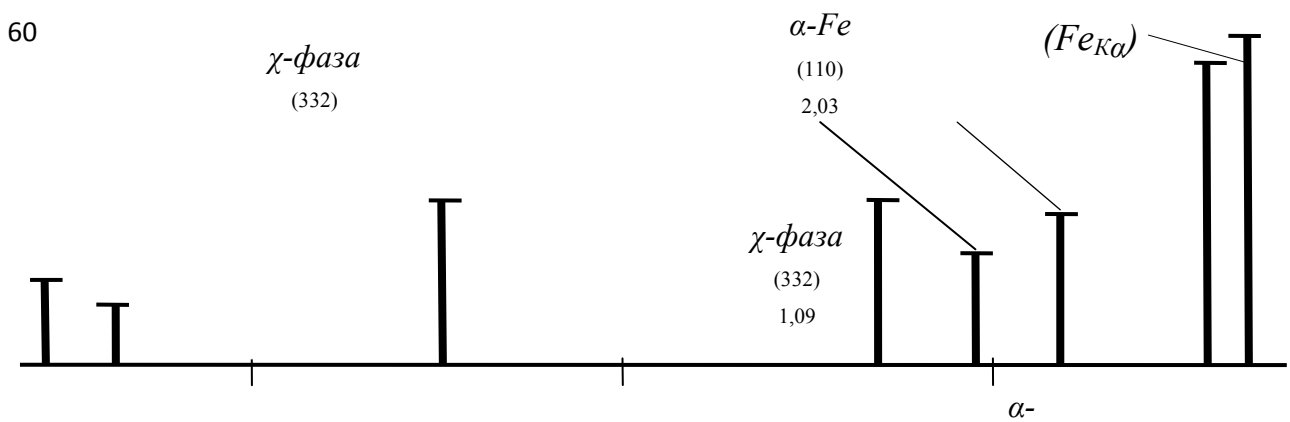


Рис. 10. Рентгенограмма отожженного порошка стали X14Г10Т6



Рис. 11. Микрорельеф излома сплава 70 % TiC – сталь X14Г10Т6, увеличение $\times 1000$



Рис. 12. Хрупкое разрушение карбидных зерен в сплаве 70 % TiC – сталь X14Г10Т6, увеличение $\times 6600$

Совпадение спектра карбида титана с эталоном и табличными значениями связано с весьма узкой областью гомогенности карбида с дефицитом по углероду и отсутствием растворимости в карбиде титана железа, марганца и хрома из-за их малых атомных радиусов. Отсутствие такой растворимости подтверждает также микрорентгеноспектральный анализ. Микрозонд с чувствительностью 0,1 % по массе не обнаружил в зернах карбида титана других растворенных металлов.

Улучшенное взаимодействие при спекании карбида титана со связкой из стали X14Г10Т6 (по сравнению со сплавом 70 % TiC – Fe [1]) благодаря присутствию титана в связке приводит к повышению прочности границ между зернами карбида и связкой. Это подтверждается фрактографическим анализом сплавов, разрушенных при нагружении изгибом (рис. 11–12). На поверхности разрушения примерно 80 % зерен карбида титана хрупко разрушены.

Разрушающая трещина по пути наименьшего сопротивления прошла не по границам зерен, а через тело карбидов. Более вязкий характер разрушения отмечен при прохождении разрушающей трещины через прослойки связки. Это выражается в образовании вогнутых фасеток на сравнительно толстых участках связки и в резком изменении направления трещины, что увеличивает работу разрушения. Очень похожую структуру и фрактографию имеют исследованные нами твердые сплавы на основе карбида титана с железомолибденовой связкой – фактически тоже безуглеродистой сталью ферритного класса с интерметаллидным упрочнением [5, 6]. Сходный характер разрушения имеют твердые сплавы на основе карбида титана с никель-титановой связкой [11]. У твердых сплавов на основе карбида титана с железной связкой разрушающая трещина огибает карбидные зерна [12], что свидетельствует о пониженной прочности межфазовых границ, больше доля вязкого разрушения по связке, что является признаком ее слабого упрочнения, а в итоге дает меньшую прочность сплава.

Анализ структуры спеченных твердых сплавов на основе карбида титана со связкой из специальной стали показал, что сложные процессы при спекании не нарушают смоделированную структуру безвольфрамового твердого сплава, пригодного для оснащения режущих инструментов. Структура режущего твердого сплава должна быть гетерогенной с карбидным каркасом из мелких зерен с прочной связью между карбидной основой и стальной связкой. Стальная связка должна иметь структуру высоколегированного феррита с дисперсной интерметаллидной χ -фазой. Комплексное экспериментальное исследование свойств сплавов должно подтвердить работоспособность этой структурной модели режущего твердого сплава.

Литература

1. Яняк, С. В. Влияние содержания карбида титана на свойства твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства : материалы национальной научно-

практической конференции (Пенза, 28–29 марта 2018 г.). – Пенза, 2018. – С. 210–214.

2. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов на основе карбида титана со стальными связками / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства. Часть 4. Технические науки : материалы национальной научно-практической конференции (Пенза, 28–29 марта 2018 г.). – Пенза, 2018. – С. 204–209.

3. Яняк, С. В. Режущие свойства твердых сплавов на основе карбида титана с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 3 (5). – С. 78–81.

4. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка и анализ режущих свойств твердых сплавов на основе карбида титана со стальными связками / С. В. Яняк, И. И. Комиссарова // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 2 (12). – С. 28–31.

5. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов на основе карбида титана с железомолибденовой связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. – 2018. – № 1 (1). – С. 23–27.

6. Яняк, С. В. Анализ структуры и свойств твердых сплавов на основе карбида титана с железомолибденовой связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 2 (4). – С. 22–26.

7. Яняк, С. В. Режущие свойства твердых сплавов на основе карбида титана с железомолибденовой связкой / С. В. Яняк, И. И. Комиссарова // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 3 (13). – С. 74–78.

8. Яняк, С. В. Анализ свойств и структуры специальной стали для связки в твердых сплавах на основе карбида титана / С. В. Яняк, И. И. Комиссарова // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : материалы XV Международной научно-технической конференции (Вологда, 8 декабря 2020 г.) / Вологда : ВоГУ, 2021. – С. 47–52.

9. Яняк, С. В. Исследование теплостойкости твердых сплавов методом дифференциального термического анализа / С. В. Яняк, И. И. Комиссарова // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 1 (11). – С. 27–31.

10. Киффер, Р. Твердые сплавы : перевод с немецкого / Р. Киффер, П. Шварцкопф ; под редакцией В. П. Елютина. – Москва : Металлургиздат, 1957. – 664 с.

11. Акимов, В. В. Характер разрушения композиционных материалов TiC – TiNi с использованием фрактографических исследований / В. В. Акимов, М. В. Акимов, С. Н. Кульков // Омский научный вестник. – 2006. – № 10 (48). – С. 74–76.

12. Яняк, С. В. Фрактографический анализ поверхностей разрушения твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, И. И. Комиссарова // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 4 (14). – С. 68–72.

S.V. Ianiak, I.I. Komissarova
Vologda State University

ANALYSIS OF SOLID ALLOYS STRUCTURE ON THE BASIS OF TITANIUM CARBIDE WITH SPECIAL STEEL LIGAMENT

An analysis of the structure of sintered solid alloys is made by methods of metallographic, x-ray diffraction phase, electron microscopic fractographic analysis. A heterogeneous structure was installed with rounded grains of titanium carbide, partially fragile in the aggregates and the frame, the gaps between which are filled with steel ligament. Steel ligament has a two-phase structure: high-alloyed ferrite and intermetallic χ - phase. The boundaries between carbides and a ligament have strength comparable to titanium carbide.

Solid alloy, titanium carbide, bunch, special steel, structure, phase composition, heat resistance.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Баев Александр Сергеевич

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры судовых энергетических установок, систем и оборудования Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (Санкт-Петербург, Россия)
bas1949@yandex.ru

Бойчевский Александр Валерьевич

доцент кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета (Липецк, Россия)
boi-alek@yandex.ru

Бормосов Николай Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
bormosovna@vogu35.ru

Ботьков Андрей Олегович

обучающийся института машиностроения, энергетики и транспорта Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
anatoly_1@mail.ru

Востров Анатолий Валентинович

старший преподаватель кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
anatoly_1@mail.ru

Ильичев Евгений Александрович

кандидат технических наук, доцент, директор Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
ilichevea@vogu35.ru

Иньков Александр Эдуардович

аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
aleksandr.inkov@gmail.com

Казаква Ирина Сергеевна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
kazakova.is@yandex.ru

Капуш Илья Романович

магистр кафедры «Строительное производство» Владимирского государственного института им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир, Россия)
ilya.kapush@gmail.com

Колпаков Валерий Николаевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
valery.kolpakov-vn2016@yandex.ru

Комиссарова Ирина Игоревна

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
irigkom@mail.ru

Кузьмин Александр Григорьевич

доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры управляющих и вычислительных систем Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
bmt@vogu35.ru

Лужинский Антон Михайлович

аспирант кафедры автоматике и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
avt@vogu35.ru

Лукинов Максим Михайлович

магистрант кафедры теплогазодоснабжения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
bogmosovna@vogu35.ru

Малышев Владимир Сергеевич

кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительства, энергетики и транспорта Мурманского государственного технического университета (Мурманск, Россия)
malyshevvs@mstu.edu.ru

Михалевич Надежда Вениаминовна

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
nadmix1958@yandex.ru

Молочников Денис Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации мобильных машин и технологического оборудования Ульяновского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина (Ульяновск, Россия)
denmol@yandex.ru

Пантилеев Сергей Петрович

доцент кафедры строительства, энергетики и транспорта Мурманского государственного технического университета (Мурманск, Россия)
pantileevsp@mstu.edu.ru

Поварова Ольга Александровна

старший преподаватель кафедры строительства Инженерно-технического института Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)
boliaa@mail.ru

Подольский Александр Александрович

обучающийся Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета, инженер-проектировщик ООО «Теплотроника» (Вологда, Россия)
sanya2763sanya@mail.ru

Полуэктова Надежда Андреевна

обучающийся Инженерно-технического института Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)
Kagura.tian17@yandex.ru

Поляков Тимофей Александрович

обучающийся 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

Ржеуцкая Светлана Юрьевна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматики и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
avt@vogu35.ru

Семенов Александр Сергеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство» Владимирского государственного института им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир, Россия)
semenov-alex@mail.ru

Синицын Антон Александрович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теплогазоводоснабжения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
sinitsyna@vogu35.ru

Соловьев Сергей Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
solovevsa@vogu35.ru

Соловьева Анастасия Андреевна

аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
soloveva@vogu35.ru

Соловьева Екатерина Вячеславовна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры архитектуры и градостроительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
evsvologda@mail.ru

Умаров Максуджон Файзулович

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры управляющих и вычислительных систем Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
umma54@rambler.ru

Шашкова Лола Эдуардовна

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
shashkovale@vogu35.ru

Шишигин Дмитрий Сергеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры управляющих и вычислительных систем Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
shishiginds@vogu35.ru

Шпиганович Александр Николаевич

доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования Липецкого государственного технического университета (Липецк, Россия)
san@stu.lipetsk.ru

Шпиганович Алла Александровна

доктор технических наук, доцент кафедры экономики Липецкого государственного технического университета (Липецк, Россия)

kaf-econ@mail.ru

Яковлев Сергей Александрович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии производства и ремонта машин Ульяновского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина (Ульяновск, Россия)

jakseal@mail.ru

Яняк Сергей Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

tms@vogu35.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bayov Alexander Sergeevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Ship Power Installations, Systems and Equipment, St. Petersburg State Marine Technical University (St. Petersburg, Russia)
bas1949@yandex.ru

Boychevsky Alexander Valerievich

Associate Professor, the Department of Electrical Equipment, Lipetsk State Technical University (Lipetsk, Russia)
boi-alek@yandex.ru

Bormosov Nikolai Alexandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automobiles and Automobile Economy, Vologda State University (Vologda, Russia)
bormosovna@vogu35.ru

Botkov Andrey Olegovich

Student of the Institute of Mechanical Engineering, Energy and Transport, Vologda State University (Vologda, Russia)
anatoly_1@mail.ru

Vostrov Anatoly Valentinovich

Senior Lecturer, the Department of Automobiles and Automotive Economy, Vologda State University (Vologda, Russia)
anatoly_1@mail.ru

Ilyichev Evgeny Alexandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Civil Engineering Institute of the Vologda State University (Vologda, Russia)
ilichevea@vogu35.ru

Inkov Alexander Eduardovich

Postgraduate student of the Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
aleksandr.inkov@gmail.com

Kazakova Irina Sergeevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
kazakova.is@yandex.ru

Kapush Ilya Romanovich

Master student of the Department of Construction Production, Vladimir State Institute named after A.G. and N.G. Stoletovs (Vladimir, Russia)
mail ilya.kapush@gmail.com

Kolpakov Valery Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)
valery.kolpakov-vn2016@yandex.ru

Komissarova Irina Igorevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Roads, Vologda State University (Vologda, Russia)
irigkom@mail.ru

Kuzmin Alexander Grigorievich

Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Control and Computing Systems, Vologda State University (Vologda, Russia)
bmt@vogu35.ru

Luzhinsky Anton Mikhailovich

Postgraduate student of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
avt@vogu35.ru

Lukinov Maxim Mikhailovich

Master student of the Department of Heat and Gas Supply, Vologda State University (Vologda, Russia)
bormosovna@vogu35.ru

Malyshev Vladimir Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Construction, Energy and Transport, Murmansk State Technical University (Murmansk, Russia)
malyshevvs@mstu.edu.ru

Mikhalevich Nadezhda Veniaminovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
nadmix1958@yandex.ru

Molochnikov Denis Evgenievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation of Mobile Machines and Technological Equipment, Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (Ulyanovsk, Russia)
denmol@yandex.ru

Pantileev Sergey Petrovich

Associate Professor, the Department of Construction, Energy and Transport, Murmansk State Technical University (Murmansk, Russia)
pantileevsp@mstu.edu.ru

Povarova Olga Alexandrovna

Senior Lecturer, the Department of Construction, Engineering and Technology Institute, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)
boliaa@mail.ru

Podolsky Alexander Alexandrovich

student of the Civil Engineering Institute of Vologda State University, a design engineer at Teplotronika LLC (Vologda, Russia)
sanya2763sanya@mail.ru

Poluektova Nadezhda Andreevna

Student of the Engineering and Technical Institute, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)
Kagura.tian17@yandex.ru

Polyakov Timofey Alexandrovich

Student of the Engineering and Technical Institute, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)
polyackov.t@yandex.ru

Popov Igor Pavlovich

Senior Lecturer, the Department of Mechanical Engineering Technology, Machine Tools and Tools, Kurgan State University (Kurgan, Russia)
ip.popov@yandex.ru

Rzheutskaya Svetlana Yurievna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
avt@vogu35.ru

Semenov Alexander Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production, Vladimir State Institute. A.G. and N.G. Stoletovs (Vladimir, Russia)
semenov-alex@mail.ru

Sinitsyn Anton Alexandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Heat and Gas Supply, Vologda State University (Vologda, Russia)
sinitsynaa@vogu35.ru

Solovyov Sergey Alexandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
solovevsa@vogu35.ru

Solovyova Anastasia Andreevna

Postgraduate student of the Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
solovevaaa@vogu35.ru

Solovyova Ekaterina Vyacheslavovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Architecture and Urban Planning, Vologda State University (Vologda, Russia)
evsvologda@mail.ru

Umarov Maksujon Faizuloevich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Control and Computing Systems, Vologda State University (Vologda, Russia)
umma54@rambler.ru

Shashkova Lola Eduardovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
shashkovale@vogu35.ru

Shishigin Dmitry Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Control and Computing Systems, Vologda State University (Vologda, Russia)
shishiginds@vogu35.ru

Shpiganovich Alexander Nikolaevich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Equipment, Lipetsk State Technical University (Lipetsk, Russia)
san@stu.lipetsk.ru

Shpiganovich Alla Alexandrovna

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, the Department of Economics, Lipetsk State Technical University (Lipetsk, Russia)
kaf-econ@mail.ru

Yakovlev Sergey Alexandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Production and Repair of Machines, Ulyanovsk State Agrarian University. P.A. Stolypin (Ulyanovsk, Russia)
jakseal@mail.ru

Yanyak Sergey Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)
tms@vogu35.ru

Научное издание

ВЕСТНИК ВОЛОГОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Технические науки
№ 1 (15) / 2022

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 23.05.2022. Выпуск в свет 31.05.2022. Формат 60 × 84/8
Уч.-изд. л. 11,2. Усл. печ. л. 12,5. Тираж 25 экз. Заказ № 267. Бесплатно

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»
160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15

Отпечатано: ООО РА «Эпатаж»
160004, г. Вологда, ул. Ленинградская, 38
Тел.: (8172) 724-800, 70-25-77, e-mail: ra-epatazh@mail.ru