

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.

№ 4 (26) / 2024

СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВОЛОГДА
2024

№ 4 (26) / 2024 / ДЕКАБРЬ. Выходит 4 раза в год.

Рецензируемый научный журнал «Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки» предназначен для ознакомления российской и зарубежной научной общественности, аспирантов и студентов с новыми научными результатами, имеющими значение в области фундаментальной и прикладной науки. С 2018 года включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Полнотекстовые версии выпусков научного журнала размещены в свободном доступе на сайте Научной электронной библиотеки (www.eLibrary.ru).

Реестровая запись от 5 апреля 2019 г. серии ПИ № ФС77-75456. Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Серия: Технические науки.

Специальности: 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, 2.3.1. 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, 2.5.6. Технология машиностроения, 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы.

Главный редактор – *А.А. Кочкин*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства 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,
Р.Ю. Добрецов, д-р техн. наук, проф. ИММиТ СПбПУ,
Е.В. Ершов, д-р техн. наук, проф. ЧГУ,
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,
В.А. Пшеничкина, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ,
В.И. Римшин, д-р техн. наук, чл.-корр. РААСН, проф.
НИИСФ РААСН,
Н.Н. Трушин, д-р техн. наук, проф. ТулГУ,
В.Д. Чертовской, д-р техн. наук, проф. ГУМРФ
имени адмирала С.О. Макарова,
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.П. Митракова*, *Н.Н. Постникова*.

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

Адрес редакции: 160000, Российская Федерация, Вологодская область, г. Вологда, ул. Галкинская, д. 3, каб. 326. Тел.: 8 (8172) 72-47-70, e-mail: vestniktech@vogu35.ru. Сайт: vestnik.vogu35.ru.

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», 160000, Российская Федерация, Вологодская область, город Вологда, улица Ленина, дом 15.

Отпечатано: ООО «Издательство „Сад-огород“», г. Вологда, ул. Текстильщиков, 20а; тел.: 8(8172) 73-12-22; e-mail: vologdapost@yandex.ru.

Подписано в печать 13.12.2024 г. Выпуск в свет 28.12.2024 г. Формат А4 (60 x 84/8).

Уч.-изд. л. 7,00. Усл. печ. л. 9,75. Тираж 30 экз. Заказ № 860. Цена свободная.

ISSN 2658-3399

© ФГБОУ ВО «Вологодский
государственный университет», 2024

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. 4 (26) / 2024

SERIES: TECHNICAL SCIENCES

VOLOGDA
2024

No. 4 (26) / 2024 / DECEMBER. It is issued 4 times a year.

Peer-reviewed scholarly journal "Bulletin of the Vologda State University. Series: Technical Sciences" is intended to familiarize the Russian and foreign scientific community, post-graduate students and undergraduate students with new scientific results that are important in the field of fundamental and applied science. Since 2018, it has been included into the Russian Science Citation Index (RSCI). Full-text versions of the issues of the scholarly journal are freely available on the website of the Scientific Electronic Library (www.eLibrary.ru).

Register entry dated April 5, 2019, series PI No. Φ C77-75456. It's registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor).

Series: Technical sciences.

Specialties: 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 traffic tunnels, 2.1.9. Structural mechanics, 2.3.1. System analysis, management and information processing, 2.3.3. Automation and management of technological processes and industries, 2.3.4. Management in organizational systems, 2.3.7. Computer modeling and design automation, 2.5.6. Engineering technology, 2.5.11. Land transport and technological means and complexes.

Chief editor A.A. Kochkin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University.

Deputy Chief Editors: A.E. Nemirovsky, Doctor of Technical Sciences, Professor of Vologda State University, A.N. Shvetsov, Doctor of Technical Sciences, Professor of Vologda State University.

Secretary V.A. Rakov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vologda State University.

Members of the Editorial Board:

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

E.V. Ershov, Doctor of Technical Sciences, Prof. of CHSU

V.G. Gagarin, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAACS, Prof. of Research Institute of Building Physics of RAACS,

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

V.P. Gusev, Doctor of Technical Sciences, Head of the laboratory of Research Institute of Building Physics of RAACS,

R.Yu. Dobretsov, Doctor of Technical Sciences, Prof. of Institute of Machinery Materials and Transport of SPbPU,

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 SPbGASU,

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

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

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

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,

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

V.I. Rimshin, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAACS, Prof. of Research Institute of Building Physics RAACS,

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

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

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 Research Institute of Building Physics of RAACS

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

Editors A.P. Mitrakova, N.N. Postnikova.

Original layout N.V. Podhomutova.

Address of the Editorial Office: 160000, Russian Federation, Vologda region, Vologda, Galkinskaya st., 3, office 326. Tel.: 8 (8172) 72-47-70, e-mail: vestniktech@vogu35.ru. Website: vestnik.vogu35.ru.

Founder and publisher: Vologda State University, 160000, Russian Federation, Vologda region, Vologda, Lenina st., 15.

Printed by: LLC «Publishing House "Sad-Ogorod"», Vologda, Tekstilshchikov st., 20a; tel.: 8(8172) 73-12-22; e-mail: vologdapost@yandex.ru.

Passed for printing 13.12.2024. Date of Publication 28.12.2024. Format A4 (60 x 84/8).

Conventional printed sheets 7,00. Published pages 9,75. Number of copies 30. Order 860. Open price.

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Строительные конструкции, здания и сооружения

<i>Казакова И.С.</i> ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ЖЕСТКИХ УЗЛОВ СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ	7
--	---

<i>Соловьева А.А., Смирнов В.А.</i> МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ДЛЯ РЕЗЕРВА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ	16
--	----

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха

<i>Пантилеев С.П., Малышев В.С.</i> НОВЫЕ МЕТОДЫ РЕГАЗИФИКАЦИИ СПГ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	20
---	----

Проектирование и строительство автомобильных дорог

<i>Габибов Н.Н., Андреев Д.Н.</i> К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭМУЛЬГАТОРОВ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ	25
--	----

<i>Дрогунов Д.С., Зарапина Л.С., Андрианов К.А., Зубков А.Ф.</i> ВИДЫ ДЕФЕКТОВ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ И ПРИЧИНЫ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ	28
---	----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Системный анализ, управление и обработка информации

<i>Серегичев К.С., Сукощников А.А.</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВЫДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИЙ ИЗ ВРЕМЕННОГО РЯДА	33
--	----

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

<i>Селянин Н.С., Кочкин Д.В.</i> ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИИ-ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СЕРВИСНЫХ ЦЕНТРОВ	37
---	----

Управление в организационных системах

<i>Полянский А.М.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДИСЦИПЛИН	41
--	----

Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования

<i>Вольников М.И., Вольников Е.М.</i> ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ГЕТЕРОСТРУКТУР	45
--	----

<i>Ларькина Т.С.</i> К ВОПРОСУ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ДЛЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ	48
---	----

<i>Рахимов А.А.</i> КОМПЬЮТЕРНОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ ЯВЛЕНИЙ, ПРОЦЕССОВ, СИСТЕМ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ И ОБРАЗОВАНИЯ	51
--	----

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Технология машиностроения

<i>Байёв А.С.</i> СБАЛАНСИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ КАК СПОСОБ ДОСТИЖЕНИЯ ИМПОРТОНЕЗАВИСИМОСТИ СТРАНЫ	55
--	----

<i>Попов И.П., Раков В.А.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ФАЗ КОЛЕБАНИЙ РЕШЕТНЫХ СТАНОВ	60
---	----

Наземные транспортно-технологические средства и комплексы

<i>Востров А.В.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВОВ УДЕЛЬНОЙ ТРУДОЕМКОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА СОВРЕМЕННЫХ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ	64
--	----

<i>Котомчин А.Н., Ляхов Е.Ю., Ляхов Ю.Г.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ И ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН В УСЛОВИЯХ ПРИДНЕСТРОВЬЯ	69
--	----

<i>Сведения об авторах</i>	73
----------------------------------	----

CONTENTS

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Building constructions, buildings and structures

<i>Kazakova I.S.</i> CHOICE OF EFFECTIVE CONSTRUCTIVE SOLUTION FOR RIGID JOINTS OF BUILDINGS STEEL FRAMES	7
<i>Solovyova A.A., Smirnov V.A.</i> METHODS OF PROBABILITY DENSITY ESTIMATION FOR RESERVE OF STEEL STRUCTURAL ELEMENTS LOAD-BEARING CAPACITY UNDER STATISTICAL TESTS	16

Heat supply

<i>Pantileev S.P., Malyshev V.S.</i> NEW METHODS OF LNG REGASIFICATION TO INCREASE BOILER EQUIPMENT EFFICIENCY	20
--	----

Road design and construction

<i>Gabibov N.N., Andreev D.N.</i> CHOICE OF DOMESTIC EMULSIFIERS TO PREPARE EMULSIFIED BITUMEN FOR ROAD INDUSTRY	25
<i>Drogunov D.S., Zarapina L.S., Andrianov K.A., Zubkov A.F.</i> TYPES OF DEFECTS IN PAVEMENT SURFACE CONSTRUCTION AND CAUSES OF THEIR FORMATION	28

INFORMATION TECHNOLOGY

System analysis, management and information processing

<i>Seregichev K.S., Sukontschikov A.A.</i> FORECASTING ELECTRICITY CONSUMPTION USING TIME SERIES FEATURE EXTRACTION	33
---	----

Automation and control of technological processes and productions

<i>Selyanin N.S., Kochkin D.V.</i> IMPACT OF AUTOMATIC AI-DIAGNOSTIC MODULE USE ON SERVICE CENTERS EFFICIENCY	37
---	----

Management in organizational systems

<i>Polianskiy A.M.</i> MODELING PROCESSES OF DEVELOPMENT AND APPLICATION OF ELECTRONIC TEACHING MATERIALS	41
---	----

Computer modeling and design automation

<i>Volnikov M.I., Volnikov E.M.</i> FUNDAMENTAL MODELS OF HETEROSTRUCTURES DYNAMICS	45
<i>Larkina T.S.</i> ON ANALYSIS OF CHEMICAL CURRENT SOURCES DYNAMIC MODEL FOR TRACTION ELECTRIC DRIVES	48
<i>Rakhimov A.A.</i> COMPUTER AND MATHEMATICAL MODELING AS METHOD OF SCIENTIFIC COGNITION OF PHENOMENA, PROCESSES, SYSTEMS OF VARIOUS NATURE AND EDUCATION	51

MECHANICAL ENGINEERING

Engineering technology

<i>Bayov A.S.</i> BALANCED DESIGN OF COMPLEX EQUIPMENT IN MECHANICAL ENGINEERING AS A WAY TO ACHIEVE IMPORT INDEPENDENCE OF THE COUNTRY	55
<i>Popov I.P., Rakov V.A.</i> OPTIMIZATION OF SIEVE BOOTS VIBRATIONS PHASES	60

Land transport and technological means and complexes

<i>Vostrov A.V.</i> DETERMINATION OF STANDARDS FOR SPECIFIC LABOR INTENSITY OF MAINTENANCE AND ROUTINE REPAIR OF MODERN PASSENGER CARS	64
<i>Kotomchin A.N., Lyakhov E.Yu., Lyakhov Yu.G.</i> USE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS WHEN RESTORING CAR PARTS AND ROAD CONSTRUCTION MACHINERY IN CONDITIONS OF TRANSNISTRIA	69
<i>Information about the authors</i>	76

УДК 69.07



И.С. Казакова

Вологодский государственный университет

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ЖЕСТКИХ УЗЛОВ СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ

В статье представлены исследования конструктивного решения жестких узлов стальных рам каркасов зданий. Рассмотрено напряженно-деформируемое состояние двух типов узлов. Исследованы жесткие узлы на болтах с контролируемым натяжением и соединения на сварке. Выполнены сметные расчеты. Установлена стоимость каждого из типов узлов и сделан выбор наиболее экономичного конструктивного решения узла.

Рамные каркасы зданий, жесткие узлы, болтовые соединения, болты с контролируемым натяжением, сварные соединения, сметные расчеты, минимальная стоимость.

На сегодняшний день наблюдается рост строительства зданий и сооружений с использованием металлических конструкций, в основе которых лежит рамная конструктивная схема. Она применяется при строительстве многих гражданских зданий (административных зданий, торгово-развлекательных центров, спортивных сооружений и т.д.).

Стальная рама каркаса состоит из горизонтальных и вертикальных конструктивных элементов, где в большинстве случаев горизонтальными являются стальные балки, а вертикальными – колонны. Узлы, в которых происходит соединение основных конструктивных элементов, а также нескольких конструкций в единую систему, являются крайне важной составляющей любых зданий или сооружений. Выбор и исполнение способов соединения конструктивных элементов в узлах существенно влияют не только на качество конструкции, но и на общую экономическую эффективность и строительную пригодность проекта.

Жесткие соединения в таких конструктивных схемах надежно показали себя на практике. Использование жестких узлов позволяет создать прочное соединение, способное выдерживать значительные нагрузки и обеспечивать безопасность и надежность сооружения.

Соединение элементов в жестком узле может выполняться на болтах с контролируемым натяжением или на сварке.

В различные периоды строительства зданий активно использовали как сварные, так и болтовые соединения. Сварные соединения имеют ряд преимуществ перед болтовыми: они исключают ослабления поперечного сечения, не требуют сверления отверстий, что сохраняет структурную целостность элементов и приводит к снижению трудоемкости и эко-

номии материалов. Для болтовых соединений характерна повышенная сложность устройства, что требует точного сверления отверстий в элементах. Это увеличивает время изготовления, стоимость и вероятность ошибок. Однако болтовые соединения отличаются эффективностью при монтаже, что особенно удобно при сборке конструкций на строительной площадке. Предварительно изготовленные болты и гайки обеспечивают постоянную прочность и надежность, что упрощает контроль качества по сравнению со сварными соединениями.

В 60–80-х годах прошлого века были проведены экспериментальные исследования и разработаны методики расчета сварных узловых соединений. В работе Н.И. Троицкого и И.В. Левитанского [1] рассматриваются методы расчета сварных жестких узлов. В работе используется статический метод теории предельного равновесия в соответствии с материалами экспериментальных исследований в ЦНИИПроектстальконструкция в 1969–1971 гг. Предложенная методика расчета рамного узла, разработанная на основе статического метода теории предельного равновесия, основана на предположении, что в предельном состоянии все элементы узла способны работать за пределами упругости. Авторами делается вывод, что сварной рамный узел на накладках весьма надежен в эксплуатации.

После разработки ЦНИИПроектстальконструкцией и введением в действие в 1982 году типовой серии 2.440-1 [2] стали активно использоваться болтовые соединения, поскольку они имели больше преимуществ по сравнению с существующими сварными. Назначение работы – унификация узлов и максимальное уменьшение трудозатрат при изготовлении, монтаже конструкций и разработке проектов стальных

конструкций многоэтажных производственных зданий на стадиях КМ и КМД. В типовой серии представлены рамные узлы соединений ригелей с колоннами: фланцевые узлы с предварительным натяжением высокопрочных болтов и узлы с накладками и высокопрочными болтами, работающими на обеспечение трения между соединяемыми элементами. Методика расчета в типовой серии [2] основывалась на отечественных и зарубежных экспериментально-теоретических исследованиях работы соединений элементов стальных конструкций того времени. Типовая серия в настоящее время не потеряла своей актуальности.

В работе В.М. Добрачева и Д.С. Вершинина [3] приводятся результаты исследования четырех вариантов стыка на болтах с помощью нового программного обеспечения ANSYS. Дается оценка расхода стали и приведенных затрат. Новое программное обеспечение позволяет оценить напряженно-деформируемое состояние узла стыка ригеля и колонны, что ранее не представлялось возможным. Для определения наиболее экономичного варианта узла сопряжения балок перекрытия и колонн был выполнен статический расчет методом конечных элементов поперечной рамы 5-этажного двухпролетного здания, подбор сечений балок перекрытия и конструирование узлов сопряжения балок с колоннами. Сравнение было выполнено по четырем вариантам узлов сопряжения балок с колоннами – балки с жестким узлом сопряжения с колоннами (классический узел на накладках и фланцевый узел); балки с полужестким узлом сопряжения с колоннами и новое конструктивное решение – балки с предварительно напряженными затяжками. На основании проведенных исследований эффективности рамных узлов был сделан вывод, что наиболее экономичным вариантом по критерию расхода металла и приведенных затрат является новое конструктивное решение балки с предварительно напряженными затяжками.

В работе [4] рассматриваются четыре вида конструктивных решений фланцевого соединения на болтах с использованием нового программного обеспечения ANSYS, но все они выполнены для узловых соединений, работающих только на растягивающие усилия.

После разработки конструктивного решения каркаса здания с неразрезными ригелями и колоннами высотой на этаж, стали активно использоваться сварные соединения ригеля и колонны. Такие соединения отличает простота устройства. Они использованы в каркасах зданий торгово-развлекательных центров в Вологде (ОАЗИС, ФОРУМ, КИТ и другие). Исследования напряженно-деформируемого состояния таких узловых соединений в литературе не представлено.

Анализ технической литературы по жестким узлам стальных рам каркасов зданий показал, что исследования проводились отдельно для болтовых или отдельно для сварных соединений, напряженно-деформируемое состояние жестких узлов изучено недостаточно. Исследований напряженно-деформиру-

ванного состояния жестких сварных и болтовых узлов, рассчитанных на одни и те же усилия, и их технико-экономической оценки в технической литературе не представлено.

Актуальной задачей является поиск наиболее экономичного конструктивного решения жесткого узла стальных рам каркасов зданий. Предметом исследования является выбор эффективного конструктивного решения жесткого узла на болтах с контролируемым натяжением или на сварке.

Научная новизна исследования состоит в разработке научно-практических рекомендаций, обеспечивающих экономическую эффективность как на этапе проектирования, строительства, так и на этапе эксплуатации объекта. Используя результаты работы, проектные и строительные организации смогут применить наиболее эффективный и надежный вариант конструктивного решения жесткого узла.

В ходе сравнения двух видов жестких узлов оценивается их напряженно-деформируемое состояние, сопоставляется расход стали и стоимость выполнения. В статье используются результаты экспериментально-теоретических исследований, выполненных магистрантом К.Е. Никуличевым.

Исследования узлов проводятся на стальном каркасе здания, в основе которого двухэтажная трехпролетная рама пролетом 6 м, с шагом колонн 6 м. Каркас выполнен по рамно-связевой схеме. Каркас моделировался в программе Autodesk Advance Steel. Разработанная пространственная модель каркаса представлена на рисунке 1.

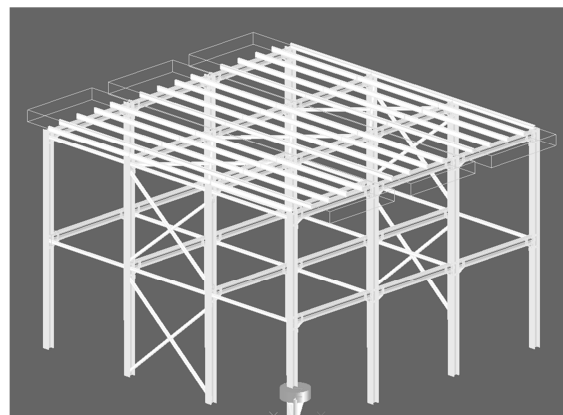


Рис. 1. Стальной каркас здания – трехмерный вид

Расчет стального каркаса выполнен в программе SCAD Office. Нормативные значения нагрузок принимались по СП20.13330.2016 Нагрузки и воздействия [5]. В расчете учитывались: постоянная нагрузка от веса металлоконструкций (рассчитывалась программой SCAD Office); временная нормативная нагрузка (4 кН/м^2); нормативная ветровая нагрузка (для I снегового района – $0,23 \text{ кН/м}^2$); нормативная снеговая нагрузка (для IV снегового района – $2,0 \text{ кН/м}^2$).

Для расчета приняты три варианта нагружения ригелей. Первый вариант с нагрузкой всех трех пролетов, второй вариант – с нагружением на крайние

пролеты, третий вариант – с нагружением первого и второго пролета.

Подобраны сечения основных конструктивных элементов рамного каркаса по ГОСТ 57847-2017: для балки – двутавр 40Ш1, для колонны – двутавр 40К1.

В настоящем исследовании использовался программный комплекс ANSYS Workbench. Среди достоинств этого программного комплекса можно выделить большое количество встроенных пре- и постпроцессоров, продвинутый интерфейс, инновационные методы выполнения задач, а также огромное собрание материалов и строительных конструкций. С помощью препроцессоров в программном комплексе ANSYS можно выполнить модель конструкции, в модуле Workbench назначить необходимые материалы конструктивным элементам, в Mechanical можно указать состояние контакта поверхностей, разделить модель сетками, выполнить приложение нагрузок и выбрать защемление объекта, выполнить расчет, получить различные виды результатов.

Для моделирования фланцевого узла в месте примыкания балки к колонне использован препроцессор, встроенный в ПО ANSYS, под названием Design Modeler. Модель состоит из полнотелых отдельных тел. Все элементы узла подобраны в соответствии с серией 2.440-1 Выпуск 1 [2]. Болты с контролируе-

мым натяжением М24 смоделированы в соответствии с нормативными требованиями, в процессе моделирования болты и гайки приняты одним сплошным телом, что ускорило расчет узла. В узле в колонне запроектированы горизонтальные ребра жесткости, прикрепляемые к стенке и полкам колонны. Смоделированы сварные швы с поперечным сечением в виде равнобедренного прямоугольного треугольника. Катет поперечного сечения принимался равным катету сварного шва. На рисунке 2 приведен чертеж фланцевого узла, на рисунке 3 показана его модель.

Данное исследование предполагает использование нелинейного поведения свойств применяемых сталей. Диаграммы упругопластической работы материала для элементов фланцевого узла приняты из стали С255Б для колонн, балок, ребер жесткости; из стали С345 – для фланца, из стали 40Х – для гаек и болтов. Прочностные характеристики сталей задаются в свойствах материала в ПО ANSYS с учетом нелинейной работы материала.

Моделирование жесткого узла включает в себя процесс установки различных типов соединения между элементами конструкции. Программный комплекс ANSYS предусматривает возможность устанавливать для любого вида соединения различные модели, основанные на различии физических условий, при которых контактируют реальные объекты.

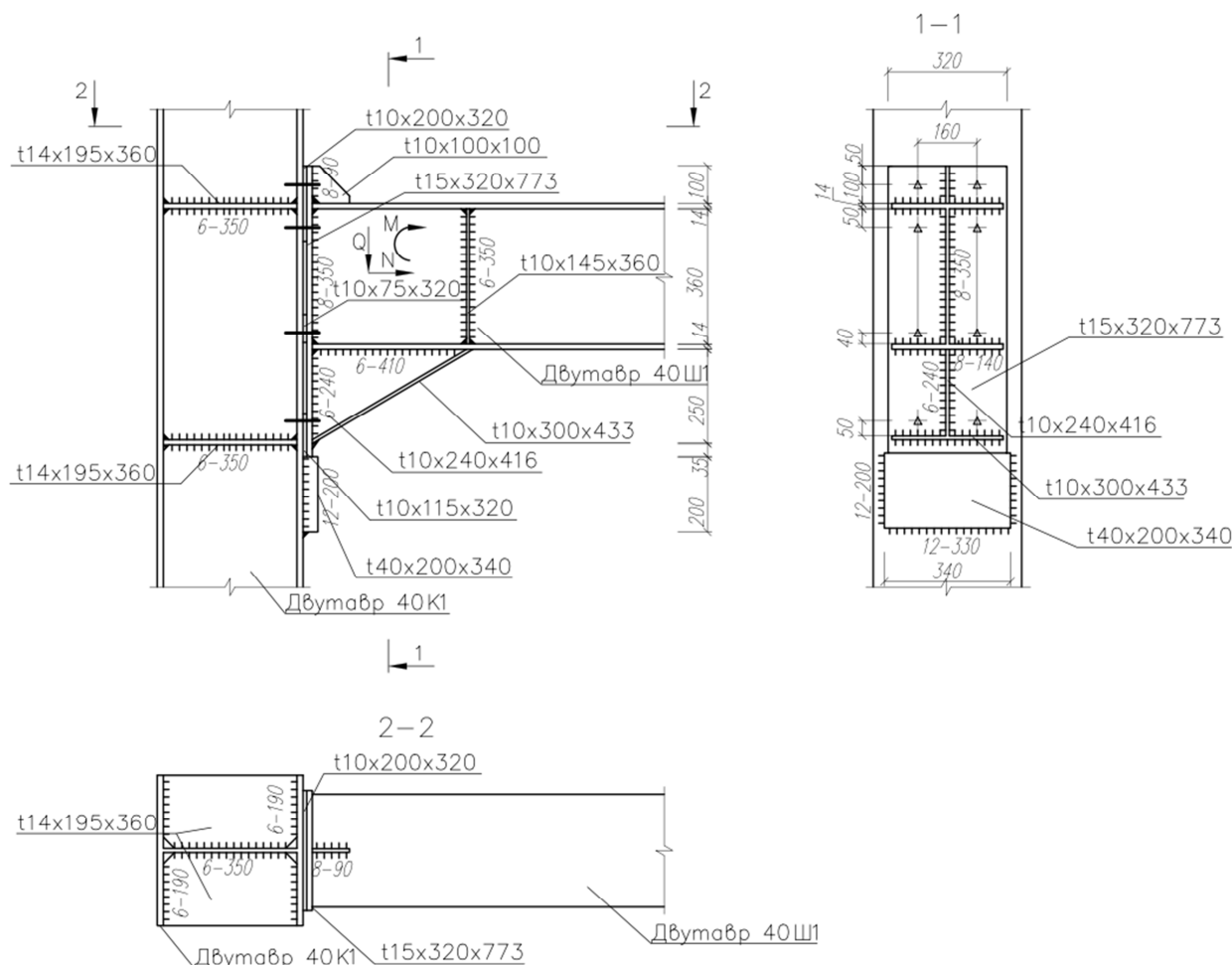


Рис. 2. Чертеж исследуемого фланцевого узла

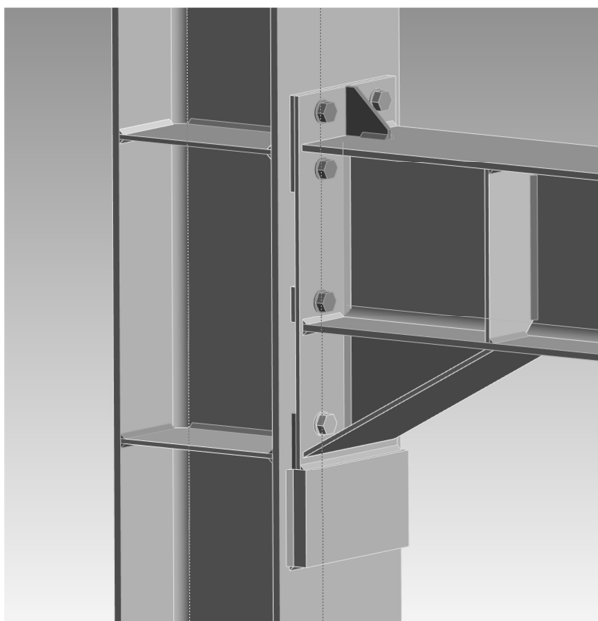


Рис. 3. Модель фланцевого узла

Для моделирования фланцевого соединения используются два вида контактных площадок. В случае соединения тела болта с другим элементом, а также фланца и гайки, используется тип контакта Frictional. Такая модель контакта учитывает влияние сил трения скольжения, пропорциональных нормальной силе реакции. Площадь контакта может варьироваться и обычно включает в себя зоны прилипания и скольжения, которые возникают, когда тангенциальная сила (статическое трение) достигает критического значения. В настоящем исследовании коэффициент трения установлен на уровне 0,35.

При соединении элементов модели со сварным швом используется контакт типа Bonded. Для имитации жесткой заделки используется функция Fixed Support, которая применяется к нижнему и верхнему торцу колонны, она запрещает любое перемещение модели.

Нагрузка прикладывается к модели в две ступени. На первой стадии задается контролируемое натяжение болтов при помощи функции Boltpretention до усилия в 271 кН согласно серии [2]. На втором этапе прикладываются нагрузки. Приложение нагрузок в программе соответствует работе узла в реальных условиях: сначала затягиваются болты, затем прикладывается нагрузка.

При исследовании напряженно-деформируемого состояния узла контролируются следующие параметры: вертикальные и горизонтальные перемещения, напряжения в исследуемых элементах узла, усилия в болтах.

Генерация сетки конечных элементов выполняется программой в автоматическом режиме. Для единичного конечного элемента вручную установлен размер 10×10 мм. Общее число полученных в результате генерации конечных элементов составило 121 542, количество узлов – 244 741. Сетка конечных элементов в узле и распределение напряжений пред-

ставлены на рисунке 4. Максимальное напряжение в балке 218,2 МПа < 245 МПа (таблица В.3 СП16.13330.2017 [6]).

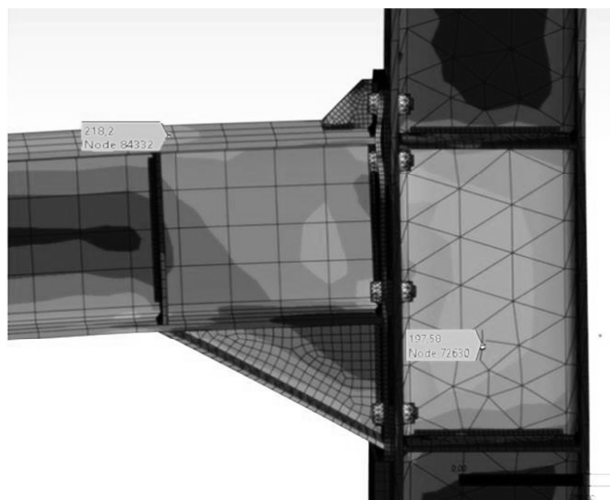


Рис. 4. Распределение нормальных напряжений в узле

Напряжения во фланце представлены на рисунке 5. Максимальное растягивающее напряжение в болтах 728 МПа < 755 МПа (таблица Г.8 [6]), напряжение смятия во фланце – 349,5 МПа < 620 МПа (таблица Г.6 [6]).

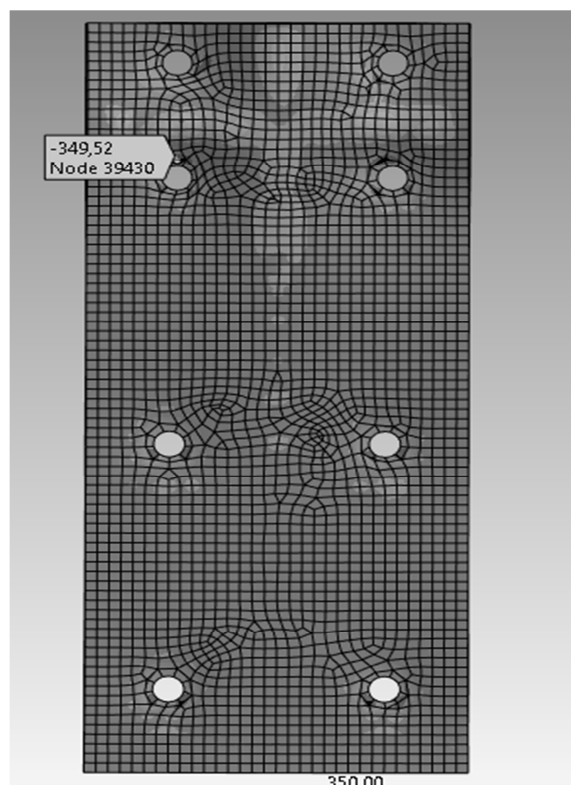


Рис. 5. Напряжения смятия во фланце

При максимальной нагрузке на узел наблюдаются: изгиб фланца по сложной форме (рис. 6), небольшое удлинение болтов. В конструкции узла нет ярко выраженных слабых мест. Разрушение возможно по различному сценарию, что говорит о рациональности

Контролируемые параметры не выходят за пределы максимальных значений. Болты подобраны с минимальным недонапряжением – 6,5 %. Минимальное недонапряжение в элементах фланцевого узла – 11,0 %.

между накладкой и верхней и нижней полками балки.

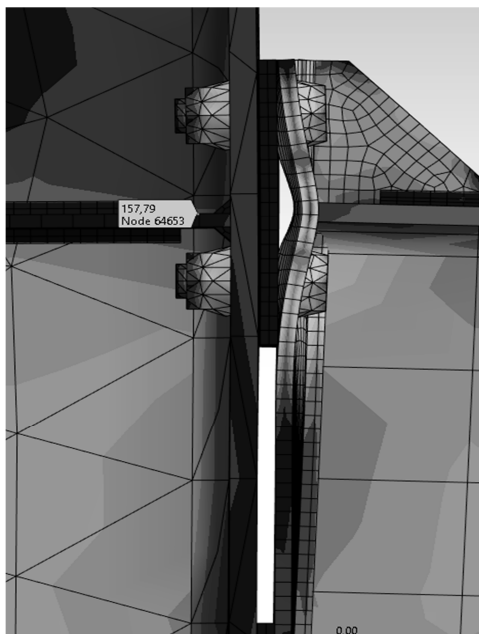


Рис. 6. Изгиб фланца

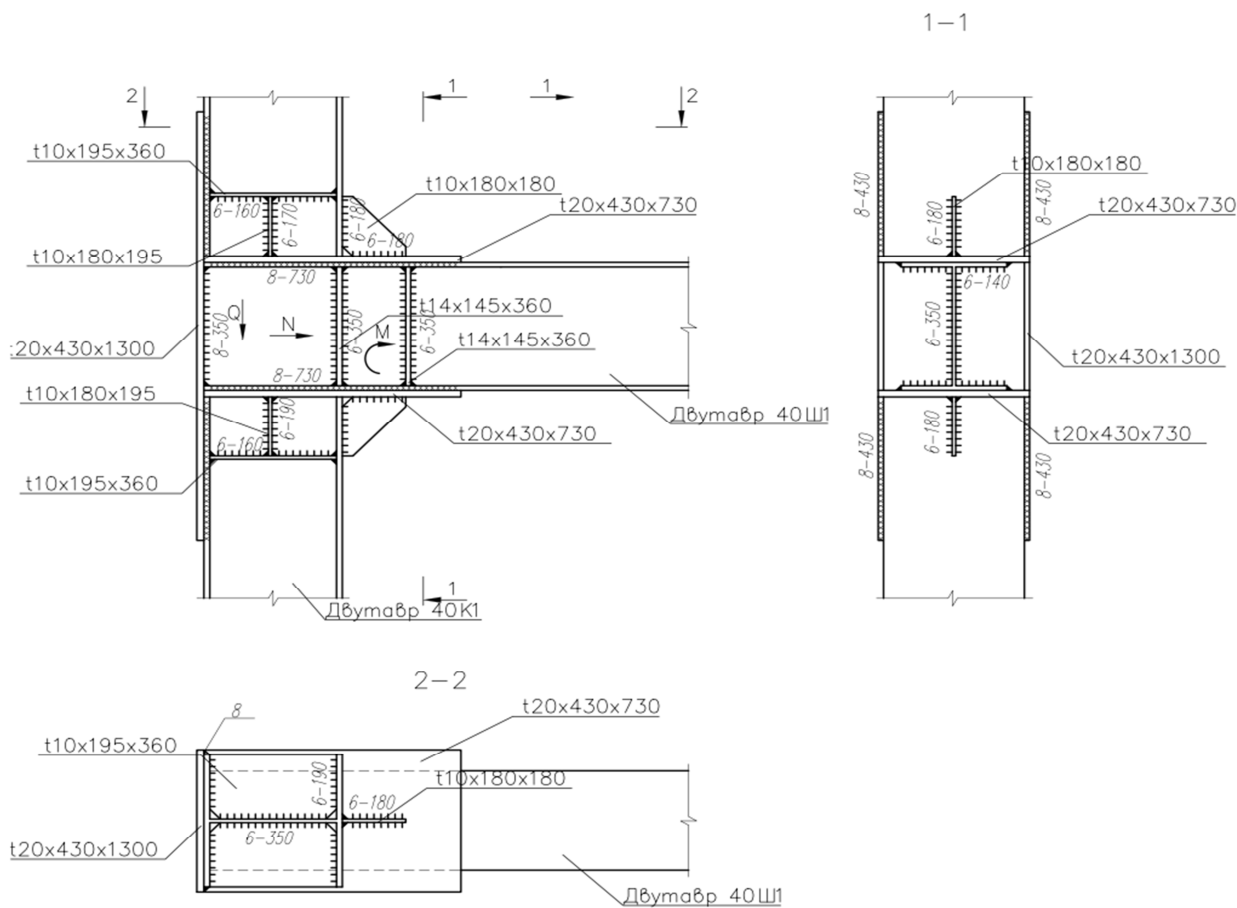


Рис. 7. Чертеж сварного узла

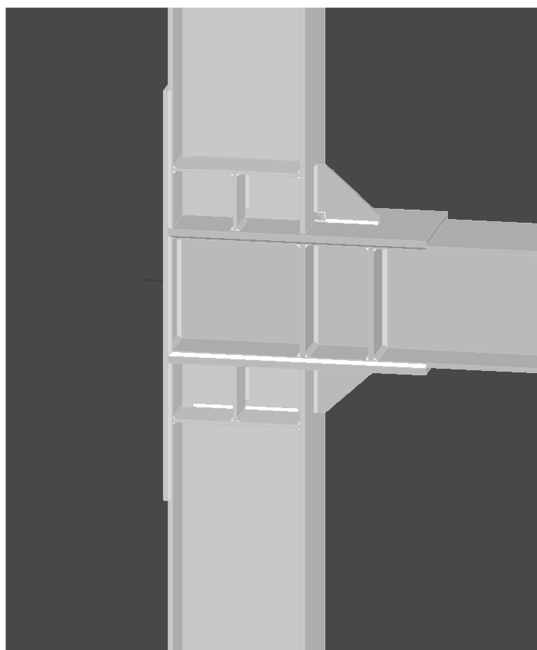


Рис. 8. Модель сварного узла

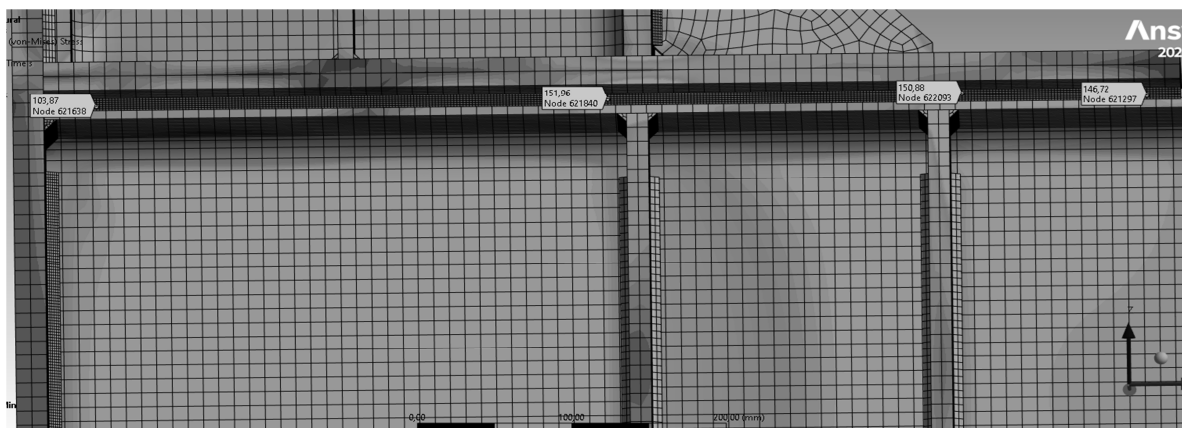


Рис. 9. Напряжения в горизонтальном сварном шве между накладкой и верхней полкой балки

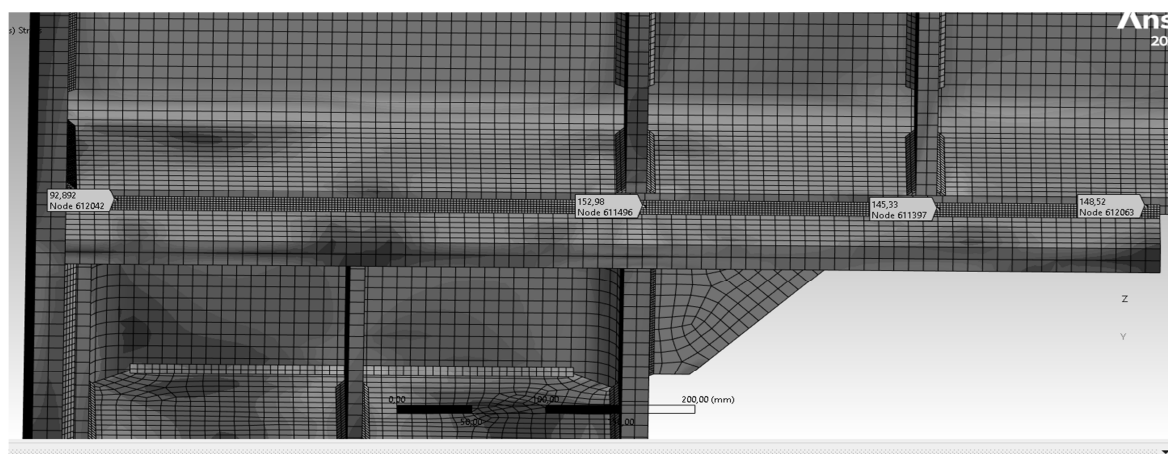


Рис. 10. Напряжения в горизонтальном сварном шве между накладкой и нижней полкой балки

В использованном способе при моделировании сварных соединений принимается несколько условий:

- материал сварного шва принимается одинаковым по всей толщине;
- металл сварного шва принимается с такими же характеристиками, как и другие элементы модели, это делается для того, чтобы можно было обеспечить одинаковую прочность сварного шва и металла привариваемого элемента конструкции;
- при оценке сварочного процесса не учитываются сварочные деформации во время и после сварки;
- температура сварных швов и околошовной зоны принята равной 21 °С, что соответствует нормальным условиям эксплуатации каркаса.

Диаграммы упругопластической работы материала для элементов сварного узла приняты для стали С245.

В результате проведенных исследований установлено:

- напряжения, возникающие в сварных швах, не превышают нормативных значений;
- напряжения в сварных швах распределяются равномерно, без резких изменений;
- наибольшие напряжения в швах узла возникают в нижнем горизонтальном шве между накладкой и нижней полкой балки и составляет 152,98 МПа < 166,5 МПа (таблица Г.2 [6]).

Результаты исследования напряженно-деформированного состояния жестких узлов рамного каркаса на болтах с контролируемым натяжением и на сварке представлены в таблице 1.

Исходя из анализа напряженно-деформированного состояния узлов, можно сделать вывод о том, что сварной узел менее деформативен по сравнению с болтовым соединением.

Для выбора наиболее эффективного конструктивного решения узла были составлены сметные расчеты.

Сметная стоимость изготовления стального каркаса в г. Вологде определена в нормах и ценах 2000 года. Стоимость изготовления технологических металлических конструкций принята по сборнику ФЕРм 81-03-38-2001 «Сборник 38. Изготовление технологических металлических конструкций в условиях производственных баз» [7]. Стоимость монтажных работ технологических металлических конструкций принята по сборнику ФЕРм 81-02-09-2001 «Сборник 9. Строительные металлические конструкции» [8]. Сметная стоимость контроля за сварными швами принята в соответствии со сборником «Сборник 39. Контроль монтажных сварных соединений» [9]. Расчеты выполнены на основании базы «Федеральные единичные расценки на строительные работы 2020». Стоимость рассчитана в ценах 4 квартала 2023 года по Вологодской области без учета НДС (20 %) и лимитированных затрат (временных зданий и сооружений, зимнего удорожания, снегоборьбы и прочих затрат). Была составлена сметная документация: локальный сметный расчет № 1 «На изготовление и монтаж металлических конструкций на болтовых соединениях» и локальный сметный расчет № 2 «На изготовление и монтаж металлических конструкций на сварных соединениях». Результаты сметного расчета представлены в таблице 2.

Сметная стоимость изготовления и монтажа на 1 тонну металлического каркаса здания с использованием жестких узлов составила:

- на болтах с контролируемым натяжением – 116 981,49 рублей;
- на сварке – 98 687,02 рублей.

Стоимость металлического каркаса с использованием жестких узлов между колонной и балкой на сварке выгоднее на 18,54 % по сравнению с жестким узлом на болтах с контролируемым натяжением.

Таблица 1

Сравнение результатов расчета жестких узлов

Параметр	Нормативные требования	Болтовое соединение	Сварное соединение	Разница, %
Вертикальные перемещения в узле	24 мм	7,76 мм	7,15 мм	8,53
Горизонтальные перемещения в узле	23,3 мм	1,98 мм	1,47 мм	34,69
Максимальные напряжения в болтах	775 МПа	728 МПа	-	-
Максимальные напряжения в сварных швах по границе сплавления	166,5 МПа	-	152,98 МПа	-

Результаты сметных расчетов жестких узлов

Виды и наименование работ	Стоимость конструкций за 1 тонну в рублях		чел/ч на 1 тонну	Примечание	Нормативный документ
	болтовые соединения	сварные соединения			
Изготовление конструкции	84 363,04	61 867,27	115,1	Изготовление на болтовых соединениях посчитано как разница между стоимостью готовой конструкции стоимостью монтажных работ на сварных соединениях. В стоимость изготовления на оба вида соединения входит стоимость металлопроката	ФЕРм 81-03-38-01-001 ФЕРм 81-03-38-01-002 [7]
Монтаж конструкций	32 618,42	28 612,42	22,4		ФЕР 81-02-09-01-001[9]
Контроль качества сварных стыков (прямые зазоры, без учета накладных и сметной прибыли), в том числе:		8 207,22	8,49		
Визуальный и измерительный контроль		104,10		Контроль качества принят из расчета 1 метр погонный шва на 1 тонну изделия	ФЕРм 81-03-39-02-022[8]
Контроль плотности способом керосиновой пробы		37,80			ФЕРм 81-03-39-02-020 [8]
Испытание вакуум-камерой		3 401,99			ФЕРм 81-03-39-02-021 [8]
Ультразвуковая дефектоскопия		612,92			

Выводы

1. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния жестких узлов примыкания колонны и балки с использованием болтов с контролируемым натяжением и на сварке. Сварной узел получился менее деформативен по сравнению с болтовым соединением.

2. Стоимость металлического каркаса с использованием жестких узлов на сварке между колонной и балкой выгоднее на 18,54 % по сравнению с жестким узлом на болтах с контролируемым натяжением, трудоемкость выполнения сварного узла ниже на 29 %.

3. Исследование позволяет заказчику самостоятельно принять решение о выборе конструктивного решения жесткого узла на болтах с контролируемым натяжением или на сварке исходя из заявляемых требований (стоимость, трудоемкость, возможность контроля качества соединений, профессиональный состав рабочих).

Литература

1. Троицкий, П. Н. Исследование действительной работы сварного рамного узла крепления и рекомендации по его расчету / Н. И. Троицкий, И. В. Левитанский // Материалы по металлическим конструкциям. – 1977. – № 19.

2. Серия 2.440-1. Узлы стальных конструкций производственных зданий. Выпуск 1. Рамные и шарнирные узлы балочных клеток и примыкания ригелей к колоннам. ЦИТП Госстроя СССР, 1982. – 82 с. Дата актуализации: 01.01.2021.

3. Добрачев, В. М. Использование предварительного напряжения в конструкциях рамных узлов каркасов зданий / Добрачев, В. М., Вершинин, Д. С. // Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Проблемы строительного производства и управления недвижимостью», 26–27 ноября 2014 года, к 65-летию Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева посвящается / редколлегия: Угляница А. В. [и др.]. – Кемерово : КузГТУ, 2014. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12.

4. Макарова, Е. С. Анализ конструкции фланцевого соединения с применением ПК «ANSYS» / Е. С. Макарова // Вопросы науки и образования. – 2018. – № 24 (36). – С. 28–38.

5. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия: актуализированная ред. СНиП 2.01.07-85*: утв. Минстроем России 03.12.2016 №891/пр. (редакция от 30.12.2020) : введен 04.06.2017. – Москва : Минстрой России. – Дата сохранения 24.02.2022. – 128 с.

6. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* – Москва : Стандартинформ, 2018. – 140 с.

7. ФЕРм 81-03-38-2001. Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на монтаж оборудования. Часть 38. Изготовление технологических металлических конструкций в условиях производственных баз (в редакции приказов Минстроя России от 30 января 2014 г. № 31/пр., от 17 октября 2014 г. № 634/пр., от 12 ноября 2014 г. № 703/пр.).

8. ФЕРм 81-03-ОП-2001 Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на монтаж оборудования. Общие положения (в редакции приказов Минстроя России от 30 января 2014 г. № 31/пр., от 17 октября 2014 г. № 634/пр., от 12 ноября 2014 г. № 703/пр.).

9. ФЕР 81-02-09-2001 Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на строительные и специальные строительные работы. Часть 9. Строительные металлические конструкции (с Изменениями от 27.02.2010, от 13.07.2011, от 08.11.2011)

I.S. Kazakova
Vologda State University

CHOICE OF EFFECTIVE CONSTRUCTIVE SOLUTION FOR RIGID JOINTS OF BUILDINGS STEEL FRAMES

The article presents studies of the constructive solution for rigid assemblies of steel frames of building frames. The stress-strain state of two types of joints is considered. Rigid joints on bolts with controlled tension and joints on welding are investigated. Cost estimates have been made. The cost of each type of joints has been determined and the most economical design solution of the joint has been selected.

Rigid frames of buildings, rigid joints, bolted joints, bolts with controlled tension, welded joints, estimated calculations, minimum cost.



А.А. Соловьева¹, В.А. Смирнов²

¹Вологодский государственный университет,

²НИУ Московский государственный
строительный университет

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ДЛЯ РЕЗЕРВА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ

В статье представлены алгоритмы оценки плотности вероятностей для резерва несущей способности элементов стальных покрытий при статистических испытаниях на основе метода ядерной оценки плотности вероятностей и метода k-ближайших соседей. При стохастическом анализе надежности методов статистических испытаний имеется существенный недостаток – при сложном детерминированном расчете конструкции здания или сооружения, реализация большого числа испытаний потребует высоких вычислительных мощностей и длительного времени реализации. При этом оценка вероятности отказа по частоте будет иметь низкую точность, а подбор функции распределения по малой выборочной совокупности данных для резерва прочности может внести большую долю субъективности в расчет. Непараметрические подходы к оценке плотности распределения вероятностей позволяют комплексно проанализировать проблему анализа распределения вероятностей для резерва несущей способности элементов стальных покрытий при статистических испытаниях. По результатам численных примеров можно сделать вывод о том, что при малом числе статистических данных существует значительный разброс в доверительных оценках параметров и функций распределения вероятностей. Для моделирования такого рода неопределенностей могут быть использованы р-блоки (probability box).

Надежность, статистические испытания, неопределенность, метод k-ближайших соседей, метод ядерной оценки, стальные конструкции покрытий, безопасность, анализ данных.

Для применения вероятностных методов расчета требуется формирование моделей базисных переменных. Обычно выделяют две группы базисных переменных: первые определяют модели воздействия (например, нагрузку), вторые – модели сопротивления (например, несущую способность).

В фундаментальной монографии по теории надежности В.Д. Райзера и О.В. Мкртычева [1] отмечается, что преимуществом метода статистических испытаний является его простота и универсальность. В то же время метод обладает существенным недостатком – при оценке малых вероятностей отказа с приемлемой достоверностью может потребоваться достаточно большое число испытаний. И если на каждом испытании выполняется сложный детерминированный расчет, то общая потребность времени расчета становится непомерно большой и метод становится неэффективным.

Для решения данной проблемы разрабатываются методы вероятностного анализа надежности элементов зданий и сооружений при неполной статистической информации [2, 3].

После реализации метода статистических испытаний, как правило, имеется выборочная совокупность данных (например, максимальные напряжения в элементе при каждой реализации):

$$\tilde{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad (1)$$

где n – число проведенных статистических испытаний.

При наличии такого подмножества данных в дальнейшем, как правило, используют два подхода:

- если выборка достаточно большая или вероятность безотказной работы мала, то надежность оценивают вероятностью по частоте – путем отношения количества успешных генераций, где напряжения не превысили предельные, к общему числу генераций;

- если выборка невелика, то по параметрам выборки строится вероятностная модель на базе известного распределения вероятностей, как правило, нормального. Вероятность безотказной работы рассчитывается известными методами теории надежности сооружений [1, 2].

Однако подбор распределения вероятностей для второго случая представляет собой субъективный выбор аналитики данных. Существует ряд непараметрических подходов к оценке плотности распределения вероятностей, использование которых позволит комплексно проанализировать проблему анализа распределения вероятностей для резерва несущей способности элементов стальных покрытий при статистических испытаниях. В настоящей работе рассмотрены методы ядерной оценки плотности и k-ближайших соседей в контексте оценки плотности распределения резерва несущей способности элементов стальных покрытий.

Восстановить плотность вероятностей резерва несущей способности элемента можно с использованием ядерной оценки плотности (или метод окна Парзе-

на – Розенблатта) [4, 5]. Ядерная оценка плотности вероятностей – это непараметрический способ оценки плотности вероятности случайной величины. Пусть имеется выборочная совокупность данных случайной величины в виде вычисленного резерва несущей способности элемента строительной конструкции путем статистических испытаний: $\tilde{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Тогда функция $\hat{f}_X(x)$ в форме оценки плотности вероятностей величины $f_X(x)$ может быть записана в виде выражения:

$$\hat{f}_X(x) = \frac{1}{h \cdot n} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right), \quad (2)$$

где n – число испытаний/измерений случайной величины \tilde{x} ; h – сглаживающий параметр, называемый «ширина полосы» (bandwidth), принимаемый $h > 0$; K – ядро (ядерная функция), которое представляет собой неотрицательную функцию.

Существуют различные виды ядерных функций K :

- прямоугольная:

$$K(t) = \begin{cases} 0,5 & \text{если } |t| < 1 \\ 0 & \text{если } |t| \geq 1 \end{cases},$$

- треугольная:

$$K(t) = \begin{cases} 1 - |t| & \text{если } |t| < 1 \\ 0 & \text{если } |t| \geq 1 \end{cases},$$

- параболическая (Епанечникова):

$$K(t) = \begin{cases} \frac{3}{4\sqrt{5}} \left(1 - \frac{1}{5}t^2\right)^2 & \text{если } |t| < \sqrt{5} \\ 0 & \text{если } |t| \geq \sqrt{5} \end{cases},$$

- нормальная и др. [6].

В связи с тем, что в строительном проектировании множество случайных величин имеют по форме распределение вероятностей близкое к нормальному (логнормальное, логистическое, распределение экстремальных значений и др.), то и в качестве ядерной функции зачастую применяется стандартная нормальная (гауссовская) функция в виде

$$K(t) = \phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2}.$$

Для оценки сглаживающего параметра, «ширины полосы» (bandwidth) h распределений, близких к нормальным, используется следующее уравнение:

$$h = 1,06 \cdot n^{-\frac{1}{5}} \cdot S_x, \quad (3)$$

или правило Сильвермана [7]:

$$h = 0,9 \cdot n^{-\frac{1}{5}} \cdot \min\left(S_x, \frac{IQR}{1,34}\right), \quad (4)$$

где S_x – среднее квадратическое отклонение выборочной совокупности данных; n – число данных в выборочной совокупности; IQR – межквартильный размах: принимается равной разнице между 75-м и 25-м процентилями (между третьим и первым квартилями $IQR = Q_3 - Q_1$).

В выражение для оценки плотности (2) также могут быть добавлены веса для выборочных значений x_i , если данные были получены различными измерительными приборами или используется информация от различных экспертов:

$$\hat{f}_X(x) = \frac{1}{h \cdot n} \sum_{i=1}^n w_i \cdot K\left(\frac{x - x_i}{h}\right), \quad (5)$$

где w_i – вес значения x_i , $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

В [8] приводится формула оценки плотности распределения случайной величины методом ядерной оценки при нормальной ядерной функции $K(t)$ в виде:

$$\hat{f}_X(x) = \frac{1}{S_x \cdot n \cdot \sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^n \exp\left[-\frac{(x - x_i)^2}{2 \cdot S_x^2}\right]. \quad (6)$$

Оценка параметра S_x при малой выборке также бывает затруднительна. В [8] приведен следующий подход к назначению среднее квадратического отклонения в случае малых выборок: среднее квадратическое отклонение определяют из условия

$$\int_{-\infty}^a \hat{f}_X(x, S_x) dx + \int_b^{+\infty} \hat{f}_X(x, S_x) dx = p(\alpha, n), \quad (7)$$

где $p(\alpha, n) = 1 - \alpha^n$, α – доверительная вероятность;

$a = x_{\min} - \frac{1}{2N-2}(x_{\max} - x_{\min})$ – нижняя граница изменчивости случайной величины;

$b = x_{\max} + \frac{1}{2N-2}(x_{\max} - x_{\min})$ – верхняя граница изменчивости случайной величины; x_{\min} и x_{\max} – минимальное и максимальное значение в выборке $\tilde{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Альтернативным вариантом для оценки плотности распределения вероятностей резерва прочности является метод k -ближайших соседей (k-nearest neighbors, KNN) [9]:

$$\hat{f}_X(x) = \frac{k}{n} \cdot \frac{1}{\frac{\pi^{\frac{p}{2}}}{\Gamma(\frac{p}{2} + 1)} \|x - x_k\|^p}, \quad (8)$$

где n – количество данных выборочной совокупности; p – размерность пространства; $\Gamma(\cdot)$ – гамма функция;

k – назначаемый параметр KNN-метода, как правило, обозначающий порядковый номер ближайшего числа k заданному.

Рассмотрим пример. Пусть по результатам статистических испытаний определялся резерв предельной узловой нагрузки на стальную ферму покрытия при изменчивости снеговой нагрузки, собственного веса конструкций покрытия и предела текучести стали [10]. По результатам 8-ми статистических испытаний были получены следующие значения резерва несущей способности:

$$g \in \{0.5, 1.2, 1.0, 1.1, 0.8, 1.4, 1.1, 1.5\} \text{ кН.}$$

Необходимо оценить плотность вероятности в точке $g = 0$.

Выборочные значения статистических параметров функции предельного состояния: среднее $\bar{g} = 1,075$ кН, стандартное отклонение $S_g = 0,320$ кН. Доверительные интервалы при малом объеме статистической информации: $m_g = [\underline{m}_g, \bar{m}_g] = [0,750; 1,400]$ кН, $S_g = [\underline{S}_g, \bar{S}_g] = [0,064; 0,576]$ кН.

В случае использования нормального распределения по выборочным значениям, значение плотности вероятности в точке 0 составит: $f_{norm}(0) = 0,0044$. В случае использования нормального распределения при пессимистическом выборе значений ($m_g = \underline{m}_g$, $S_g = \bar{S}_g$) из доверительного интервала: $f_{norm}(0) = 0,2980$.

Метод k -ближайших соседей дает следующую оценку значению плотности распределения вероятностей в точке $g = 0$:

$$\text{при } k=1: \hat{f}_g(0) = 0,125;$$

$$\text{при } k=2: \hat{f}_g(0) = 0,156.$$

Оценки плотности распределения вероятностей методом ядерной оценки при нормальной ядерной функции по (6):

$$\text{при } S_g = 0,320 \text{ кН: } \hat{f}_g(0) = 0,055;$$

$$\text{при } S_g = 0,576 \text{ кН: } \hat{f}_g(0) = 0,157.$$

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что при малом числе статистических данных существует значительный разброс в доверительных оценках параметров и функций распределения вероятностей. Для моделирования такого рода неопределенностей могут быть использованы р-блоки (probability box), которые формируют две граничные функции распределения, внутри области которых находится действительная функция распределения вероятностей.

На основе выражений для плотности распределения вероятностей (7) и (8) по указанному алгоритму

можно вычислить вероятность отказа элемента конструкции стального покрытия по формуле:

$$P_f = \int_{-\infty}^0 \hat{f}_g(g) dg. \quad (9)$$

Представленный подход может быть использован при анализе надежности стальных покрытий зданий и сооружений [11], когда метод статистических испытаний при сложном детерминированном расчете позволяет получить ограниченное число статистических данных об исследуемом параметре.

Литература

1. Мкртычев, О. В. Теория надежности в проектировании строительных конструкций / О. В. Мкртычев, В. Д. Райзер. – Москва : АСВ, 2016. – 905 с.
2. Соловьев, С. А. Неклассические методы анализа надежности строительных конструкций / С. А. Соловьев. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2022. – 135 с.
3. Соловьев, С. А. Вероятностная оценка промышленной безопасности при неполной статистической информации / С. А. Соловьев // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 9. – С. 88–93.
4. Rosenblatt, M. Remarks on Some Nonparametric Estimates of a Density Function / M. Rosenblatt // Annals of Mathematical Statistics. – 1956. – № 27. – P. 832–837.
5. Parzen, E. On Estimation of a Probability Density Function and Mode / E. Parzen // Annals of Mathematical Statistics. – 1962. – № 33. – P. 1065–1076.
6. Węglarczyk, S. Kernel density estimation and its application / S. Węglarczyk // ITM Web of Conferences. EDP Sciences. – 2018. – Vol. 23. – P. 00037.
7. Silverman, B.W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis / B. W. Silverman. – London : Chapman & Hall/CRC, 1986. – 45 p.
8. Pradlwatter, H. J. The use of Kernel densities and confidence intervals to cope with insufficient data in validation experiments / H. J. Pradlwatter, G.I. Schueller // Computer Methods and Applied Mechanics and Engineering. – 2008. – № 197. – P. 2550–2560.
9. Yen-Chi Chen. Lecture 7: Density Estimation: k-Nearest Neighbor and Basis Approach. – URL: https://faculty.washington.edu/yenchic/18W_425/Lec7_knn_basis.pdf (дата обращения: 06.12.2024). – Text : Electronic.
10. Соловьева, А. А. Вероятностные модели случайных величин в строительном проектировании / А. А. Соловьева, С. А. Соловьев. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2024. – 144 с.
11. 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.

A.A. Solovyova¹, V.A. Smirnov²
¹Vologda State University,
²Moscow State University of Civil Engineering

METHODS OF PROBABILITY DENSITY ESTIMATION FOR RESERVE OF STEEL STRUCTURAL ELEMENTS LOAD-BEARING CAPACITY UNDER STATISTICAL TESTS

The paper presents algorithms of probability density estimation for the reserve of load-bearing capacity of steel elements under statistical tests based on the kernel probability density estimation method and k-nearest neighbors (KNN) method. At stochastic reliability analysis of statistical testing methods there is a significant disadvantage – at complex deterministic calculation in structural design, realization of a large number of tests will require high computing power and longtime of realization. In this case, the estimation of failure probability by frequency will have low accuracy, and the selection of the distribution function from a small sample of data for the strength reserve may introduce a large share of subjectivity into the calculation. A nonparametric approach to the estimation of the probability distribution density function allows analyzing comprehensively the problem of probability distribution analysis for the bearing capacity reserve of steel elements under statistical tests. According to the results of numerical examples, it can be concluded that at small number of statistical data there is a significant scatter in confidence estimates of parameters and probability distribution functions. For modeling of such uncertainties p-boxes (probability box) can be used.

Reliability, statistical tests, uncertainty, k-nearest neighbors method, kernel, steel structures, safety, data analysis.



С.П. Пантилеев, В.С. Малышев
Мурманский арктический университет

НОВЫЕ МЕТОДЫ РЕГАЗИФИКАЦИИ СПГ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В работе предлагаются технологии регазификации, которые позволят обеспечить как высокую эффективность работы котельных, так и их экологическую чистоту. Приведены примеры регазификации котельных Мурманской области.

Сжиженный природный газ (СПГ), газорегулировочная станция, котельная, уходящие продукты сгорания, автономная регазификация СПГ, топливная эффективность, экологическая чистота, декарбонизация, твердый углекислый газ (сухой лед), коммерческая привлекательность.

В Мурманске уже почти 2 года успешно эксплуатируется котельная, работающая на СПГ, привозимом автотранспортом из Ленинградской области. Нами была проанализирована работа котла LAVART 2000 и предложены варианты повышения эффективности его работы. У данной котельной особый потребитель пара – это мазутное хозяйство, которое потребляет пар и не возвращает конденсат в котельную.

По режимной карте подпитка котла составляет на номинальном режиме 2,12 т/ч (0,589 кг/с) при производстве пара 2,08 т/ч. Разница идет на непрерывную продувку, которая составляет $p=100(2,12-2,08)/2,0=2\%$. При таком режиме работы это возможно только при низкой солености воды в Мурманске.

В котельной используется стандартная схема регазификации с использованием атмосферных испарителей. В зимний период СПГ можно испарить и нагреть в зависимости от температуры наружного воздуха и степени очистки от инея труб испарителя до температуры не выше -30°C . Дальнейший подогрев полученного природного газа до температуры 20°C проводится в электрическом подогревателе. По режимной карте температура уходящих из котла газов $t_{\text{гk}}=169^\circ\text{C}$, в действительности она составляет 200°C и выше.

Очевидно, что для повышения эффективности работы котельных на СПГ требуется осуществить перевод котлов на конденсационный режим работы.

Для рассматриваемого котла действительная энтальпия продуктов сгорания при работе с коэффициентом избытка воздуха $\alpha=1,15$ и температуре уходящих газов 200°C составит:

$$J_{\text{г200}} = J_{\text{г200}}^{\text{т}} + (\alpha - 1) J_{\text{в200}}^{\text{т}} = 3045 + (1,15 - 1) 2591 = 3428,6 \text{ кДж/м}^3.$$

Температура точки росы для природного газа составляет $t_{\text{рв}}=52^\circ\text{C}$. Продукты сгорания природного газа без конденсации в них паров воды можно направлять в трубу при температуре $t_{\text{труб}}=70^\circ\text{C}$.

Действительная энтальпия продуктов сгорания для нашего газа с коэффициентом избытка воздуха $\alpha=1,15$ при температуре 70°C составит:

$$J_{\text{г70}} = (70/200) J_{\text{г200}} = (70/200) 3428,6 = 1200 \text{ кДж/м}^3.$$

При этом можно дополнительно получить с 1 м^3 газообразного топлива следующее количество тепла:

$$\Delta Q = J_{\text{г200}} - J_{\text{г70}} = 3428,6 - 1200 = 2228,6 \text{ кДж/м}^3.$$

При расходе газа в котле $V=142 \text{ м}^3/\text{ч}=0,03944 \text{ м}^3/\text{с}$ $=0,3266 \text{ кг/с}$ тепловая мощность, которую можно получить при охлаждении продуктов сгорания от 200°C до 70°C , составит:

$$Q_{\text{доп}} = 0,95 V \Delta Q = 0,95 \cdot 0,03944 \cdot 2228,6 = 83,5 \text{ кВт}.$$

При переводе котлов в конденсационный режим главным препятствием является отсутствие в котельной теплоносителя с начальной температурой ниже точки росы продуктов сгорания, требующих подогрева. В нашем же случае таких теплоносителей два: вода подпитки и собственно СПГ, хранящийся при температуре -161°C . Первый способ возможен лишь в котельных с преимущественно большой подпиткой и не представляет особой проблемы, достаточно установить дополнительный подогреватель и просчитать дымосос.

Рассмотрим подробно вариант использования СПГ.

Вода в жидком состоянии имеет удельную теплоемкость, равную $c_{\text{ж}}=4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, в твердом состоянии (лед) – $c_{\text{л}}=2100 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, в газообразном состоянии (водяной пар) – $c_{\text{п}}=2200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$.

Определим теплоту конденсации водяных паров при охлаждении продуктов сгорания до 0°C при заморозке полученного конденсата:

$$Q_{\text{H2O}} = Q_{\text{охл}} + Q_{\text{кон}} + Q_{\text{зам}} = 283,8 + 1693,9 + 226,3 = 2204 \text{ кВт},$$

где $Q_{\text{охл}} = V \cdot V_{\text{0,H2O}}^{\text{н}} \cdot q_{\text{охл}} = 0,3944 \cdot 2,14 \cdot 335,6 = 283,8 \text{ кВт}$ – тепловая мощность охлаждения водяных паров;

$q_{\text{охл}} = c_{\text{п}} \cdot (200-52) = 2,200 \cdot (200-52) = 335,6 \text{ кДж/м}^3$ – теплота охлаждения паров воды до момента конденсации, отнесенная к 1 м^3 водяных паров; $Q_{\text{кон}} = V \cdot r_{\text{кон}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}} = 0,3944 \cdot 2500 \cdot 1,718 = 1693,9 \text{ кВт}$ – тепловая мощность конденсации водяных паров; $Q_{\text{зам}} = V \cdot r_{\text{зам}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}} = 0,3944 \cdot 334 \cdot 1,718 = 226,3 \text{ кВт}$ – тепловая мощность заморозки конденсата водяных паров.

Если принять условие, что пары CH_4 при давлении $P=0,1 \text{ МПа}$ будут подогреты до температуры $T_0=300 \text{ К}$ (27°C), то тогда по данным работы [2, 3] получаем дополнительное количество холода:

$$q_{\text{п}} = i_{300\text{К}} - i'' = 1200,2 - 796,1 = 404,13 \text{ кДж/кг},$$

где $i_{300\text{К}} = 1200,2 \text{ кДж/кг}$ – энтальпия при температуре $T_0=300 \text{ К}$ (27°C); $i'' = 796,1 \text{ кДж/кг}$ – энтальпия при температуре испарения СПГ $T_{\text{и}}=112 \text{ К}$ (-161°C).

Количество теплоты, которое необходимо передать СПГ, чтобы его превратить в газ с температурой $t_0=27^\circ \text{C}$, составит:

$$q_0 = r_{\text{СПГ}} + q_{\text{п}} = 510,5 + 404,13 = 914,63 \text{ кДж/кг}.$$

Тепловая мощность для этого составит:

$$Q_{\text{СПГ}} = V \cdot q_0 = 0,3266 \cdot 914,63 = 298,7 \text{ кВт}.$$

СПГ газифицировать и подогревать ПГ необходимо для всей котельной. При работе двух котлов тепловая мощность составит:

$$Q_{\text{СПГ}2} = 2 \cdot 298,7 = 597,4 \text{ кВт}.$$

Тепловая мощность на подогрев подпитки и газификации СПГ и подогрева ПГ составит:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{подп}} + Q_{\text{СПГ}2} = 209,7 + 597,4 = 807,1 \text{ кВт}.$$

Это от тепловой мощности $Q_{\text{H}_2\text{O}}$ продуктов сгорания, охлажденных до 0°C и замороженных, составит следующую долю:

$$X = Q_{\Sigma} / Q_{\text{H}_2\text{O}} = 807,1 / 2204 = 0,366 = 36,6 \text{ \%}.$$

Эту часть продуктов сгорания направить через подогреватель воды подпитки и через испаритель СПГ. Тогда температура продуктов сгорания после смешивания составит $200 \cdot (1-0,366) = 126,8^\circ \text{C}$.

Данную величину можно увеличить, если продукты сгорания охладить до температуры -90°C , при которой углекислый газ перейдет в твердую фазу «сухой лед». При этом тепловая мощность увеличится на величину:

$$Q_{\text{CO}_2} = V \cdot (c_{\text{пс}} \cdot 90 + \rho_{\text{CO}_2} \cdot V_{0, \text{CO}_2} \cdot r_{\text{CO}_2}) = 0,3266 \cdot (1,042 \cdot 90 + 1,964 \cdot 1,05 \cdot 523,5) = 394,4 \text{ кВт}.$$

Тепловая мощность на подогрев подпитки и газификации СПГ и подогрева ПГ и получения «сухого льда» составит:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{подп}} + Q_{\text{СПГ}2} + Q_{\text{CO}_2} = 209,7 + 597,4 + 394,4 = 1201,5 \text{ кВт}.$$

Доля продуктов сгорания, идущая на процесс, составит:

$$X = Q_{\Sigma} / Q_{\text{H}_2\text{O}} = 1201,5 / 2204 = 0,5451 = 54,51 \text{ \%}.$$

Тогда температура продуктов сгорания после смешивания составит:

$$[200 \cdot (1-0,5451) - 90 \cdot 0,5451] = 41,9^\circ \text{C}.$$

При этом в части продуктов сгорания останется только азот и избыточный кислород, что благоприятно для работы дымоходов и дымовой трубы.

Схема для обеспечения частичного конденсационного режима работы котла с газификацией СПГ представлена на рисунке 1. Она позволяет проводить газификацию СПГ продуктами сгорания в непрерывном процессе при помощи двух испарителей, которые попеременно работают в режиме испарения СПГ и в режиме оттайки, что исключает механическую чистку труб испарителей.

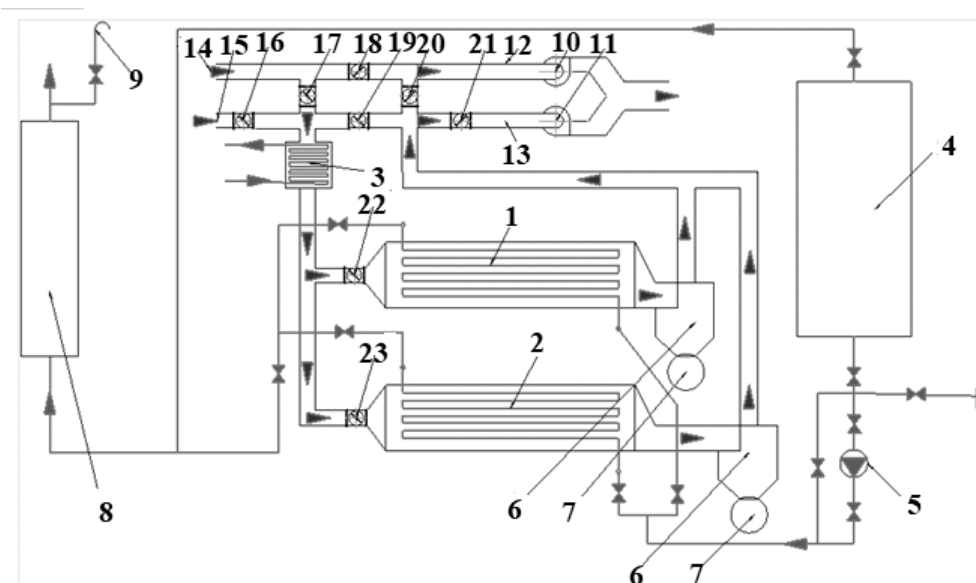


Рис. 1. Схема газификации СПГ: 1, 2 – испаритель СПГ; 3 – подогреватель подпиточной воды; 4 – хранилище СПГ; 5 – насос криогенный; 6 – циклон для улавливания льда; 7 – дисковый питатель; 8 – ресивер ПГ; 9 – свеча безопасности; 10, 11 – дымоходы; 12 – дымоход котла 1; 13 – дымоход котла 2; 14 – подвод продуктов сгорания котла 1; 15 – подвод продуктов сгорания котла 2; 16–23 – шиберы регулировочные

При работе испарителя 1 от котла 1 продукты сгорания направляются в него через открытые шиберы 17, 23 и 20 (остальные шиберы закрыты); шибер 23 приоткрыт для оттайки испарителя 2. Температуру на выходе из циклона 6 за испарителем 1 поддерживают в районе -90°C при помощи шиберы 18. СПГ при этом полностью подают при помощи соответствующего переключения запорной арматуры. В это время испаритель 2 без подачи СПГ оmyвается частью продуктов сгорания и в нем на поверхности труб происходит плавление водяного и «сухого льда», конденсат стекает в низ циклона 6 и удаляется через дисковый питатель 7, а испарившийся углекислый газ уходит через шибер 20. Часть водяного льда и «сухого льда», не осевшая на поверхности труб и унесенная в циклон 6, отделяется от продуктов сгорания и при заполнении нижней части циклона удаляется из нее через дисковый питатель 7 в емкости с тепловой изоляцией (на рисунке не показана).

После того, как трубы испарителя 1 покроются слоем льда, что можно заметить по повышению температуры продуктов сгорания на выходе из циклона, необходимо произвести переключение работы испарителей: испаритель 1 поставить на оттайку, а испаритель 2 пустить на газификацию СПГ соответствующими переключениями шиберов продуктов сгорания и газовой запорной арматуры.

При работе такой схемы из всей части продуктов сгорания, прошедших испаритель, будет получен весь конденсат водяных паров и часть «сухого льда», которая была унесена потоком продуктов сгорания в циклон. Для количественной оценки выноса «сухого льда» необходимо провести дополнительные испытания установки.

Предложенная схема использования холода СПГ безусловно эффективна, максимально экологична (практически реализуется декарбонизация уходящих газов), вместе с тем достаточно сложна из-за наличия большого количества газоходов с регулируемыми шиберами, требует специальной системы автоматизации и может быть применена при полной реконструкции существующих котельных и ее безусловно стоит

проектировать и применять при строительстве новых котельных на СПГ.

Существующим котельным для обеспечения бесперебойной газификации СПГ с получением водяного конденсата, но уже из атмосферного воздуха, подойдет схема газификации СПГ, предложенная в работах [4–7]. Авторы в этих работах предлагают использовать атмосферные испарители с принудительной конвекцией и обогревом при помощи вентиляторов и электрического подогрева воздуха. Для непрерывной работы системы создается схема, включающая два испарителя или количество испарителей, кратное двум, с автоматическим переключением потоков криопродукта. Схема такой установки показана на рисунке 2.

В конце 2015 г. специалистами компании ООО «НПО Мониторинг» была разработана конструкция испарителей с принудительной конвекцией и системой обогрева теплообменной поверхности аппарата. Секция теплообменных элементов испарителя заключена в кожух для создания направленного потока воздуха вдоль оребренных труб. Поток воздуха подается осевым вентилятором, установленным в верхней части аппарата. В нижней части испарителя смонтирован шкаф управления, а также блок ТЭНов, предназначенный для обогрева («регенерации») аппарата по определенной программе. Для повышения эффективности обогрева испарителя между вентилятором и зоной размещения теплообменных элементов устанавливается приводная заслонка, блокирующая поток естественной циркуляции нагретого воздуха во время обогрева испарителя.

Атмосферные испарители с системой принудительной конвекции и блоком ТЭНов для обогрева аппарата обеспечивают непрерывную газификацию криопродукта в течение 24-х часов в сутки, семь дней в неделю при любой температуре окружающего воздуха. При этом затраты внешней электрической или тепловой энергии при таком способе газификации составляют менее 15 % от затрат на газификацию криопродукта с использованием электрических или пароводяных испарителей.

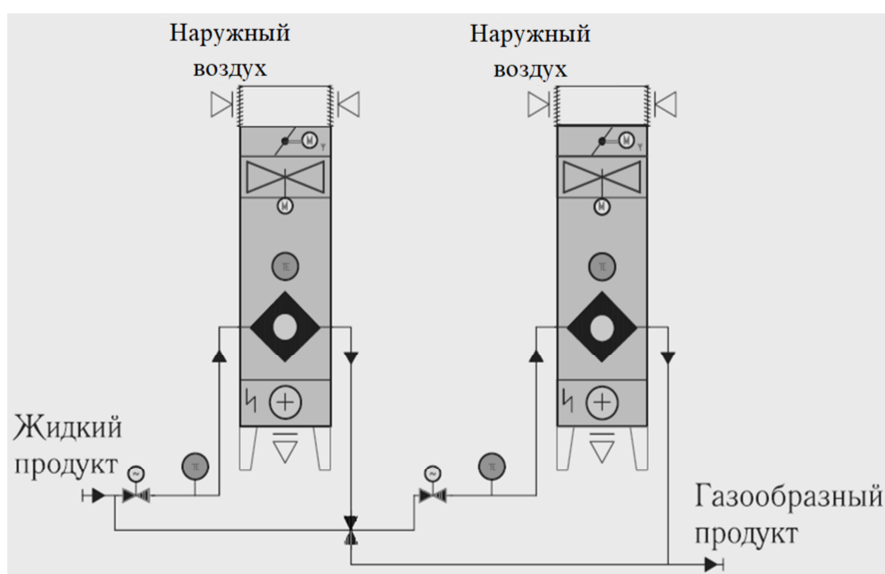


Рис. 2. Схема включения испарителей с системой принудительного обогрева

По нашему мнению, данную схему при проведении газификации СПГ для котельной можно реконструировать путем замены электрического подогрева ПГ за испарителем на подогреватель калориферный с промежуточным теплоносителем, который получает тепло уходящих продуктов сгорания от одного из котлов котельной.

Для рассмотренной выше котельной промежуточный теплоноситель при охлаждении части продуктов сгорания до температуры 0°C (без заморозки воды) может получить следующее количество тепла:

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = Q_{\text{охл}} + Q_{\text{кон}} = 283,8 + 1693,9 + 226,3 = 1978 \text{ кВт},$$

где $Q_{\text{охл}} = V \cdot V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{H}} \cdot q_{\text{охл}} = 0,3944 \cdot 2,14 \cdot 335,6 = 283,8 \text{ кВт}$ – тепловая мощность охлаждения водяных паров; $q_{\text{охл}} = c_{\text{п}} \cdot (200 - 52) = 2,200 \cdot (200 - 52) = 335,6 \text{ кДж/м}^3$ – теплота охлаждения паров воды до момента конденсации, отнесенная к 1 м^3 водяных паров; $Q_{\text{кон}} = V \cdot r_{\text{кон}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}} = 0,3944 \cdot 2500 \cdot 1,718 = 1693,9 \text{ кВт}$ – тепловая мощность конденсации водяных паров.

При температуре ПГ за испарителем -50°C для нагрева его для двух котлов до 27°C потребуется:

$$q_{\text{п}} = i_{300\text{K}} - i'' = 1200,2 - 846,1 = 354,1 \text{ кДж/кг},$$

где $i_{300\text{K}} = 1200,2 \text{ кДж/кг}$ – энтальпия при температуре $T_0 = 300 \text{ K}$ (27°C); $i'' = 846,1 \text{ кДж/кг}$ – энтальпия при температуре испарения СПГ $T_{\text{и}} = 223 \text{ K}$ (-50°C).

Тепловая мощность для этого составит:

$$Q_{\text{СПГ}} = V \cdot q_0 = 0,3266 \cdot 354,1 = 115,44 \text{ кВт}.$$

СПГ газифицировать и подогревать ПГ необходимо для всей котельной. При работе двух котлов тепловая мощность подогревателя промежуточного теплоносителя составит:

$$Q_{\text{СПГ}2} = 2 \cdot 115,44 = 230,9 \text{ кВт}.$$

Доля продуктов сгорания одного котла для обеспечения этого процесса составит:

$$x = Q_{\text{СПГ}2} / (0,95 \cdot Q_{\text{H}_2\text{O}}) = 230,9 / (0,95 \cdot 1978) = 0,123 = 12,3 \text{ \%}.$$

Из этой доли продуктов сгорания выделится следующее количество конденсата водяных паров:

$$W_{\text{кон}} = x \cdot V \cdot m_{\text{H}_2\text{O}} = 0,123 \cdot 0,0394 \cdot 1,718 = 0,00758 \text{ кг/с} = 27,29 \text{ кг/ч}.$$

При оттайке выделится конденсат отложений из воздуха. Для этого необходимо направить в неработающий испаритель часть горячего термомасла при выключенном вентиляторе и перекрытии воздушного канала. Это потребует подачи дополнительного количества продуктов сгорания в подогреватель термомасла.

Схема подключения подогревателя промежуточного теплоносителя (термомасла) показана на рисунке 3.

В качестве теплообменников «Продукты сгорания – термомасло» и «Воздух – термомасло» применим водовоздушные калориферы КСк-4 Костромского завода [8]. Использование калориферов КСк-4 в качестве конденсационных утилизаторов тепла рассмотрено в работе [2]. Автор экспериментально определил для этих теплообменников коэффициенты теплопередачи от продуктов сгорания при конденсации в них водяных паров к нагреваемой жидкой среде. По данным [2] коэффициенты теплопередачи составляет $k = 50 \dots 60 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$.

Для рассмотренной схемы при среднем температурном перепаде $\Delta t = 25^{\circ}\text{C}$ калорифера должна быть:

$$F = Q_{\text{СПГ}2} / (k \cdot \Delta t) = 230 \cdot 10^3 / (55 \cdot 25) = 167 \text{ м}^2.$$

Серийно выпускается калорифер КСк4-12-02ХЛЗБ, который имеет площадь теплопередачи $172,4 \text{ м}^2$ и площадь фронтального сечения $2,488 \text{ м}^2$, что вполне удовлетворяет нашим требованиям.

Схема газификации СПГ с промежуточным теплоносителем выполняма на базе серийно выпускаемых атмосферных испарителей фирмы ООО «НПО Мониторинг» и калориферов КСк-4, выпускаемых фирмой ОАО «Калориферный завод» (г. Кострома). Для этого можно использовать испарители необходимой мощности, под которыми следует дополнительно установить калориферы. Электрические подогреватели можно оставить в качестве резервных.

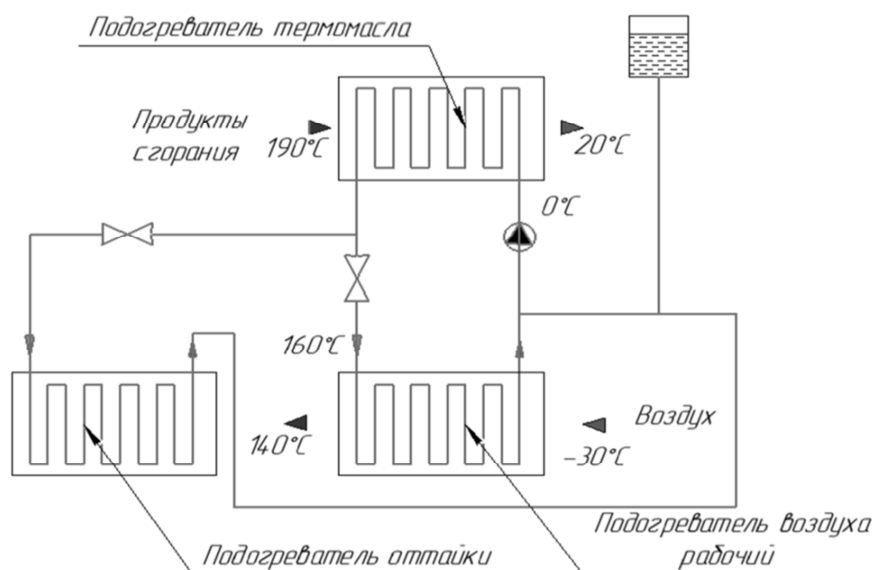


Рис. 3. Схема подключения подогревателя промежуточного теплоносителя (термомасла)

Ныне активное и безусловно перспективное использование СПГ в качестве топлива котельных требует проектировать и применять при строительстве новых существенную модернизацию, при которой СПГ непосредственно участвует в процессе регазификации и обеспечивает при этом высокую эффективность и максимально экологичность, так как при этом практически реализуется декарбонизация уходящих газов, возможно получение таких востребованных продуктов, как азот, дистиллят и сухой лед.

Для существующих и эксплуатируемых на СПГ котельных с целью обеспечения их бесперебойной и экономичной работы и для исключения затрат на обслуживание при механической очистке поверхностей испарителя от отложений инея и снега, следует существенно модернизировать схему регазификации путем перехода на спаренные испарители СПГ, один из которых выполняет основную функцию – газификация СПГ и подогрев полученного ПГ, а второй в это время работает в режиме оттайки. При этом не потребуются расходование энергии на подогрев, а предлагается использовать бросовое тепло уходящих продуктов сгорания.

В зависимости от принятой схемы обеспечен как переход котлов на конденсационный режим работы, так и получение из продуктов сгорания сопутствующих материалов, таких как водяной лед, «сухой лед», азот и конденсат водяных паров из воздуха.

Литература

1. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). – 3-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : НПОЦКТИ, 1998. – 266 с.
2. Кудинов, А. А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / А. А. Кудинов. – Москва : Машиностроение, 2011. – 373 с. – URL: <https://www.co-k.ru/library/document/12863/35756.pdf> (дата обращения: 06.12.2024). – Текст : электронный.
3. Наумов Федор Валерьевич. Автоматизированный расчет газификатора сжиженного природного газа. – URL: <https://nauchkor.ru/uploads/documents/605a6855cccfde000190a69e.pdf?ysclid=lpwmbwlbwr786993218> (дата обращения: 06.12.2024). – Текст : электронный.
4. Иванов, К. А. Современные атмосферные испарители криогенных жидкостей / К. А. Иванов, Н. В. Павлов // Технические газы. – 2010. – № 3. – С. 31–34.
5. Иванов, К. А. Атмосферные испарители высокого давления для газификации сжиженных ПРВ и СПГ / Иванов К. А., Павлов Н. В. // Технические газы. – 2012. – № 3. – С. 28–30.
6. Иванов, К. А. Использование атмосферных спарителей в системах хранения и газификации жидких криопродуктов / Иванов К. А., Павлов Н. В. // Технические газы. – 2013. – № 4. – С. 70–72.
7. Иванов, К. А. Атмосферные испарители с принудительными конвекцией и отоплением / К. А. Иванов, Н. В. Павлов // Технические газы. – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 65–68.

*S.P. Pantileev, V.S. Malyshev
Murmansk Arctic University*

NEW METHODS OF LNG REGASIFICATION TO INCREASE BOILER EQUIPMENT EFFICIENCY

The paper proposes regasification technologies that will ensure both high efficiency of boiler houses and their environmental cleanliness. Examples of regasification of boiler houses in the Murmansk region are given.

Liquefied natural gas (LNG), gas control station, boiler house, exhaust combustion products, autonomous regasification of LNG, fuel efficiency, environmental cleanliness, decarbonization (solid carbon dioxide (dry ice), commercial attractiveness.

УДК 625.85.06



Н.Н. Габиров, Д.Н. Андреев
Вологодский государственный университет

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭМУЛЬГАТОРОВ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

В статье представлено исследование необходимости пристального изучения свойств новых отечественных эмульгаторов и их влияния в составе водной фазы на конечные свойства битумной эмульсии. Результатами приведенных исследований установлено, что важно правильно подбирать количество эмульгатора, для получения прямых катионных битумных эмульсий, которые бы соответствовали принципам ресурсосбережения и отвечали требованиям стандартов по скорости распада. Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск и разработку новых составов катионных эмульгаторов и рецептур битумной эмульсии на их основе.

Битумная эмульсия, асфальтобетон, ресурсосбережение, сравнение, свойства.

Строительство дорог является важной и востребованной отраслью строительства в Российской Федерации. За последние десять лет количество транспортных средств по статистике Госавтоинспекции МВД выросло на 19 млн единиц, увеличение трафика автомобилей значительно увеличило нагрузку на дорожное покрытие, а следовательно, породило новый ряд проблем.

Каждый год для ремонта и строительства новых автомобильных дорог требуется огромный объем строительных материалов. Именно поэтому в последнее время набирают популярность ресайклинг старого асфальтобетона и эмульсионные технологии, позволяющие экономить не только материал, но и обеспечивать финансовую экономичность, технологичность и продление строительного сезона с повышением качества дорожных покрытий [3].

Дорожная битумная эмульсия – это однородная жидкость, получаемая на битумном вяжущем путем его диспергирования в водном растворе эмульгатора [1].

При нанесении на поверхность битумные эмульсии хорошо разливаются и дают ровную, блестящую, эластичную и быстро высыхающую пленку. Эмульсии легко наносятся на различные поверхности, проникая за счет невысокой вязкости в поры материалов, хорошо смешиваются с минеральными материалами и связывают их частицы.

При рассмотрении вопросов, связанных с эмульсионными технологиями, важно понимать, что состав и свойства битумной эмульсии во многом зависят от водной фазы. Важнейшим компонентом водной фазы является эмульгатор, именно он позволяет управлять качественными характеристиками конечного продукта. Наличие и содержание эмульгатора в водной фазе имеет огромное значение на всех циклах производства и существования битумной эмульсии.

Актуальность темы обуславливается тем, что на данный момент, в связи со сложной экономической ситуацией и уходом большого количества зарубежных производителей эмульгаторов из страны, появляются новые отечественные производители, основная цель которых – как можно скорее начать производство своей продукции, не уступающей ушедшей, тем самым занять освободившуюся нишу и сохранить стабильность на рынке. Однако в погоне за выгодой не всегда производитель делает это добросовестно.

Цель работы заключается в изучении влияния различных видов отечественных, современных эмульгаторов в составе водной фазы на конечные свойства битумной эмульсии.

Давайте разберемся, чем же так важен для нас эмульгатор.

Во-первых, поверхностно-активные вещества, которыми является эмульгатор, способствуют образованию эмульсии как таковой. Дело в том, что для производства дорожных одежд используется битумная эмульсия с содержанием вяжущего от 40 до 70 % от общего объема, добиться такого соотношения битума в составе эмульсии просто невозможно без использования эмульгатора. Битум, попадая в коллоидную мельницу, дробится на мелкие капли, эмульгатор создает некую оболочку вокруг них, тем самым способствуя смешиванию и образованию эмульсии прямого типа.

Второй важный аспект применения эмульгатора – это возможность выбора эмульгатора в зависимости от требуемых условий. Следуя классификации [1], в зависимости от вида эмульгатора битумные эмульсии подразделяют на два вида:

- анионные;
- катионные.

Анионные битумные эмульсии (ЭБДА) применяются в дорожном строительстве достаточно редко, это обусловлено тем, что распадаются они в процессе ис-

парения воды и это усложняет их использование, ведь необходимо учитывать температуру окружающей среды, влажность и атмосферное давление.

При распаде катионных эмульсий (ЭБДК) формирование пленки битума идет в основном за счет электрохимического взаимодействия частиц битума и в меньшей степени за счет испарения воды [2]. Электрохимическое взаимодействие достигается за счет того, что положительно заряженные ионы эмульгатора как бы обволакивают частицы битума и молекулы эмульсии получают положительный заряд. Каменные материалы, используемые в дорожном строительстве, будь то щебень, песок, минеральный порошок, имеют отрицательный заряд. Таким образом, положительные электроны притягиваются к отрицательным в очень короткий срок, и этот срок мы можем контролировать и регулировать на этапе производства.

Именно по этим причинам в большинстве случаев в дорожном строительстве применяют катионную (положительно заряженную) битумную эмульсию.

Третий важный фактор, влияющий на качество готовой продукции, – ее устойчивость и стабильность.

Сложность заключается в том, что битумная эмульсия должна быть стабильна при хранении и транспортировке, но при нанесении на минеральный заполнитель или поверхность дорожного покрытия она должна разрушаться с известной скоростью, подходящей под технологию применения.

В зависимости от скорости распада, эмульсии при смешивании с минеральными материалами подразделяют на три класса [1]:

- быстрораспадающиеся;
- среднераспадающиеся;
- медленнораспадающиеся.

Именно скорость распада – ключевая характеристика, которая играет важную роль при применении эмульсии непосредственно на участке дороги. Она зависит в основном от типа эмульгатора и его концентрации в водной фазе.

После нанесения на подготовленный участок дороги эмульсия распадается с установленной скоростью на битум и воду.

Битум, который остается после распада, уже модифицирован эмульгатором, именно по этой причине адгезия значительно выше, чем при использовании разогретых и вязких битумов в чистом виде. Образующаяся битумная пленка непроницаема для воды, практически непроницаема для пара, устойчива к внешним воздействиям и агрессивным средам (кислотам и щелочам), что положительно сказывается на качестве работ и дальнейшей эксплуатации.

Кроме этого, используемые новые отечественные эмульгаторы, чтобы соответствовать современным требованиям по ресурсосбережению, должны отвечать следующим требованиям [4]:

- эмульгатор, даже в малом количестве, 0,2–4,0 % от общего объема водной фазы, должен быть хорошо растворим в воде при температуре от 40 до 60 °С;

- немаловажно, чтобы эмульгатор не допускал образования обратных эмульсий, эмульсия должна быть стабильна при производстве и хранении;

- эмульгатор должен быть достаточно концентрированным, чтобы при добавлении всего 2–4 % от общего объема эмульсии, достигалось получение стабильной и устойчивой к хранению эмульсии, требуемого класса по скорости распада. Такое количество положительно сказывается на транспортных и складских расходах.

Новые эмульгаторы прекрасно уменьшают межфазное натяжение даже при небольших концентрациях, способствуя диспергированию, но достаточно ли такого количества для образования стабильной эмульсии?

Для каждого эмульгатора существует определенная концентрация, при которой он образует адсорбционный слой, стабилизируя эмульсию. Именно это значение можно считать оптимальным для образования эмульсии и достаточным для поддержания ее стабильности.

Таким образом, каждый новый эмульгатор требует тщательного изучения, расчета рецептур, производства пробных партий и проведения испытаний на соответствие ГОСТам. А это значит, что предстоит большой объем исследовательской работы, перед тем как приступить к применению новых отечественных эмульгаторов, что непосредственно отразится на финансовой составляющей.

Любой обыватель скажет, что проще использовать давно зарекомендовавшие себя импортные эмульгаторы, ведь нам с детства известно, что все лучшее – это импортное, например французские Сеса и шведские AkzoNobil или, на худой конец, можно взять за основу их составы и просто копировать их.

Отчасти верно, да, фирмы – производители импортных эмульгаторов хорошо известны по всему миру, их основная деятельность – это химический синтез. Производство эмульгаторов и модификаторов достаточно прибыльно, поэтому фирмы следят за развитием дорожной отрасли и быстро реагируют на требования дорожного производства, модифицируя и разрабатывая новую продукцию.

Однако проблема тут кроется в другом.

Даже если не обращать внимание на цену импортных эмульгаторов, которая никак не коррелирует с принципами ресурсосбережения и в цену которых сегодня будут заложены дополнительно и санкции, и проблемы с доставкой, остается еще один важный фактор – битумное вяжущее, используемое для дорожных покрытий, которое производится в Европе и России, кардинально отличается по составу.

Зарубежные эмульгаторы разрабатываются и применяются для битумов из нефти, то есть сырье для них всегда постоянно. Российская нефтеперерабатывающая промышленность выпускает битумы с меняющимся составом из-за того, что сырье для производства поступает с разных источников, именно это затрудняет копирование и применение импортных эмульгаторов.

В ФАУ «РОСДОРНИИ» уже задавались таким вопросом и проводили сравнительные тесты на импортных и отечественных эмульгаторах.

Опытные образцы битумной эмульсии готовились на битумах АО «Газпромнефть-МНПЗ» г. Москвы и АО «Газпромнефть-Омский НПЗ» г. Омска. После проведения сравнительных испытаний оказалось, что известные отечественные эмульгаторы ООО «АМ-ДОР» г. Санкт-Петербурга и, в частности, Амдор ЭМ практически не чувствительны к природе битума. Худшие результаты по стабильности битумной эмульсии показали эмульгаторы французской фирмы Сеса.

Эмульгаторы катионных битумных эмульсий «АМДОР-ЭМ» г. Санкт-Петербурга представляют собой различные производные аминных соединений. Эмульгатор для битумной эмульсии «ДОРОС-ЭМ» г. Ярославля – это смесь производных алкилполиаминоамидов и имидазолинов, полученных в результате синтеза полиаминов и растительных масел. Эмульгаторы «Азол 1016» г. Москвы по химическому составу являются смесью алкилполиаминов, алкилполиаминов на основе жирных кислот растительных масел и животных жиров. Эти эмульгаторы одинаково хорошо эмульгируют как битумы нафтенowego, так и парафинового ряда, которые в России преобладают.

В настоящее время в России уже выпускается несколько эмульгаторов для катионных эмульсий, на которые могут ровняться новые производители. Они менее чувствительны к разнообразной природе отечественных битумов, что позволяет снизить цены на готовую продукцию и за счет того, что не приходится корректировать свойства получаемой эмульсии различными добавками, как это делалось при использовании зарубежных ПАВ.

Как итог, очевидно, что выбор эмульгатора диктуется маркой требуемой эмульсии согласно ГОСТам, а его количество зависит от вида применяемых в дорожном строительстве каменных материалов, марки битума, погодных условий и условий применения. Существуют современные эмульгаторы, которые позволяют при использовании одного и того же эмульгатора в разных количествах получать как медленно- (ЭБДК М), так и быстрораспадающиеся (ЭБДК Б) эмульсии. Применение таких эмульгаторов упрощает как производство, так и логистику наравне с хранением. А значит достигается ресурсосбережение, эконо-

мичность, технологичность и экологичность производственного процесса.

Создание экономически и технически обоснованных эмульгаторов для изготовления битумных эмульсий и применение их в строительстве для разнообразных слоев дорожного покрытия обладает значительной практической ценностью.

Эффективное внедрение и использование, особенно катионных битумных эмульсий, в ближайшем будущем сможет существенно улучшить качество российских дорог, доведя их до уровня ведущих мировых стандартов. Это представляет собой важную экономическую цель для России и должно стать ключевым аспектом в стратегическом планировании развития дорожно-строительной отрасли страны.

Литература

1. ГОСТ Р 58952.1-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 ноября 2020 г. № 1175. – URL: <https://www.mos.ru/upload/documents/files/19/GOSTR589521-2020.pdf> (дата обращения: 08.05.2024). – Текст : электронный.
2. Одм 218.8.10.001-2020. Методические рекомендации по технологиям импортозамещения при приготовлении катионных битумно-полимерных эмульсий. Разработан ООО «Автодорис» в соответствии с государственным контрактом от 07.11.2017 № ФДА 47/135. ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от «17» февраля 2021 № 566-п. – URL: <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/media/uploaded-files/odm-218810001-2020.pdf> (дата обращения 08.05.2024). – Текст: электронный.
3. Коротков, А. В. Изучение физико-химических свойств водной фазы катионных битумных эмульсий / Коротков, А. В., Высоцкая, М. А. // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова». – 2013 г. – URL: <http://dspace.bstu.ru/bitstream/123456789/1010/1/6.%20%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%BE%D0%B2.pdf> (дата обращения 08.04.2024). – Текст : электронный.
4. Карпеко, Ф. В. Битумные эмульсии. Основы физико-химической технологии производства и применения / Карпеко, Ф. В., Гуреев, А. Л. – Москва, 1998. – 194 с.

*N.N. Gabibov, D.N. Andreev
Vologda State University*

CHOICE OF DOMESTIC EMULSIFIERS TO PREPARE EMULSIFIED BITUMEN FOR ROAD INDUSTRY

The article presents a study of the need to closely study the properties of new domestic emulsifiers and their influence in the composition of the aqueous phase on the final properties of the bitumen emulsion. The results of the above studies have established that it is important to correctly select the amount of emulsifier in order to obtain direct cationic bitumen emulsions that would comply with the principles of resource conservation and meet the requirements of standards for the rate of decomposition. Further research should be aimed at searching and developing new compositions of cationic emulsifiers and bitumen emulsion formulations based on them.

Bitumen emulsion, asphalt concrete, resource saving, comparison, properties.



*Д.С. Дрогунов, Л.С. Зарапина,
К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков
Тамбовский государственный
технический университет*

ВИДЫ ДЕФЕКТОВ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ И ПРИЧИНЫ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

В статье рассмотрены типичные дефекты асфальтобетонного покрытия и основания. Проведен анализ основных критериев расчета и конструирования нежестких дорожных одежд согласно нормативным документам. Сформулированы предложения по совершенствованию методики расчета конструкции дорожной одежды. Определены дальнейшие направления исследования.

Дефекты дорожного покрытия, нежесткая дорожная одежда, методика расчета.

Основной задачей безопасных и качественных автомобильных дорог является совершенствование методики расчета конструкции дорожной одежды. Хронология развития нормативной базы по расчету дорожной одежды нежесткого типа показывает о необходимости ее корректировки в соответствии с изменениями грузоподъемности транспортных средств, увеличением интенсивности движения автомобилей и межремонтных сроков автомобильных дорог. Ниже рассмотрены классические дефекты при несоблюдении параметров расчета конструкции дорожной одежды и (или) превышении допустимых нагрузок, а также основные критерии расчета конструкции дорожной одежды нежесткого типа.

Исследовательская часть. Вследствие эксплуатации автомобильной дороги на покрытии дорожной одежды и в основании земляного полотна проявляются дефекты. Наиболее распространенным дефектом дорожного покрытия являются трещины. В соответствии с определением ГОСТ 32825, трещина – это разрушение дорожного покрытия, проявляющееся в нарушении сплошности покрытия. Трещины в асфальтобетонном покрытии подразделяются на технологические и эксплуатационные [1].

Технологические трещины образуются из-за некачественного выполнения дорожно-строительных работ и предотвращаются путем соблюдения нормативных требований к технологии выполнения работ по устройству асфальтобетонных покрытий.

Эксплуатационные трещины в дорожном покрытии образуются от растягивающих напряжений в результате комплексного воздействия внешних силовых (транспортная нагрузка) и несиловых (температурные деформации) факторов. Эксплуатационные трещины подразделяются по целому ряду критериев: по глу-

бине, ширине, расположению на дорожном покрытии. В свою очередь трещины по причинам их образования подразделяются на:

- усталостные;
- в результате морозного пучения и неравномерных осадок;
- температурные;
- отраженные.

Усталостные трещины возникают при изгибе монолитного слоя покрытия от многократных транспортных нагрузок. Они развиваются снизу вверх от основания к поверхности покрытия. В результате того, что на основании асфальтобетонного слоя при наезде колеса возникают растягивающие напряжения. В том случае, когда они превышают предел прочности асфальтобетона, возникает трещина, которая постепенно развивается снизу вверх и проявляется на поверхности слоя покрытия. Как правило трещины локализуются в местах расположения наибольшей транспортной нагрузки, т.е. по полосам наката (рис. 1).

Трещины от морозного пучения образуются в результате неравномерного поднятия асфальтобетонного покрытия при морозном пучении грунтов, подстилающих дорожную одежду. В вертикальной плоскости эти трещины развиваются сверху от поверхности покрытия вниз к основанию (рис. 2).

В результате пучения нижерасположенных грунтов основания, которые при промерзании увеличиваются в объеме, поднимается участок дорожной одежды и в результате трещина начинает образовываться на поверхности покрытия и затем постепенно распространяться в нижнюю часть слоя.



Рис. 1. Образование усталостных трещин на асфальтобетонном покрытии автомобильных дорог

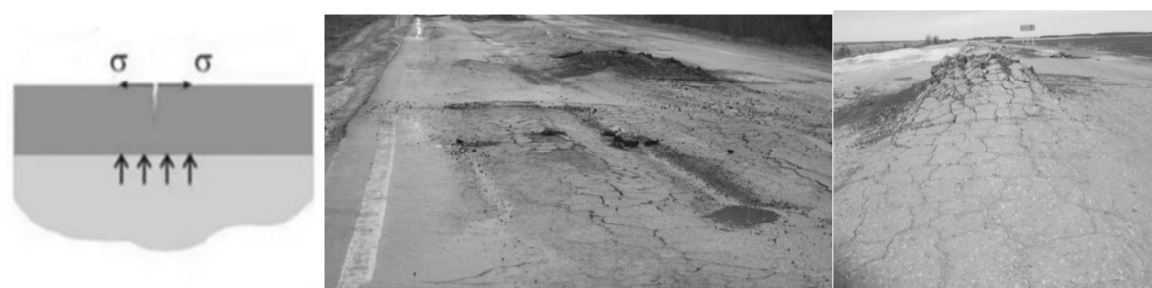


Рис. 2. Трещины от морозного пучения на асфальтобетонном покрытии автомобильных дорог



Рис. 3. Продольные трещины вдоль границы уширения конструкции дорожной одежды

Трещины, появляющиеся в результате неравномерных осадок и деформаций земляного полотна, возникают при уширении дорожной одежды, когда к существующей дорожной одежде пристраивается новая конструкция. В результате создаются условия для возникновения неоднородных деформаций и осадок. Источником их являются следующие причины:

- практически невозможно построить новую дорожную конструкцию, которая в первые годы эксплуатации за счет доуплотнения не дает осадок, в отличие от существующей дорожной одежды, которая уже стабилизирована;
- практически невозможно построить абсолютно равнопрочными существующую и новую дорожные одежды, т.к. будет наблюдаться различие в модулях упругости. Вследствие неравнопрочности дорожных

одежд при наезде колеса на зону границы происходят неравномерные деформации, приводящие к образованию трещин. Пример такой трещины представлен на рисунке 3.

Деформации земляного полотна, такие как просадка, сдвиг по грунту основания земляного полотна, образуют недопустимые аварийные дефекты. Неравномерное уплотнение по ширине земляного полотна и дорожной одежды также приводит к образованию продольных трещин на дорожном покрытии (рис. 4).

Температурные трещины. Температурные трещины возникают в результате несвободных температурных деформаций асфальтобетона при охлаждении дорожной одежды, а также разницы в коэффициентах температурного расширения дорожного покрытия и потере вязкости битума. Они приводят к образованию

трещин сначала в верхней части покрытия, а затем эта трещина развивается вниз (рис. 5). Эти трещины располагаются, как правило, поперек проезжей части и на характерных участках дорог, они имеют примерно одинаковый шаг, что является особенностью этих трещин.

Отраженные трещины возникают из-за того, что новое асфальтобетонное покрытие укладывается на основание, которое уже имеет технологический или деформационный шов или трещину. Это может быть

бетонное основание или основание из старого асфальтобетона. В результате наезда колеса автомобиля на зону с трещиной в асфальтобетонном покрытии возникают пиковые растягивающие напряжения более высокие, чем на соседних участках, что приводит к быстрому образованию трещины и выхода ее на поверхность (рис. 6). В отдельных случаях отраженные трещины развиваются в течение нескольких месяцев после устройства асфальтобетонного покрытия.



Рис. 4. Трещины, возникающие на асфальтобетонном покрытии в результате недопустимых деформаций грунта земляного полотна

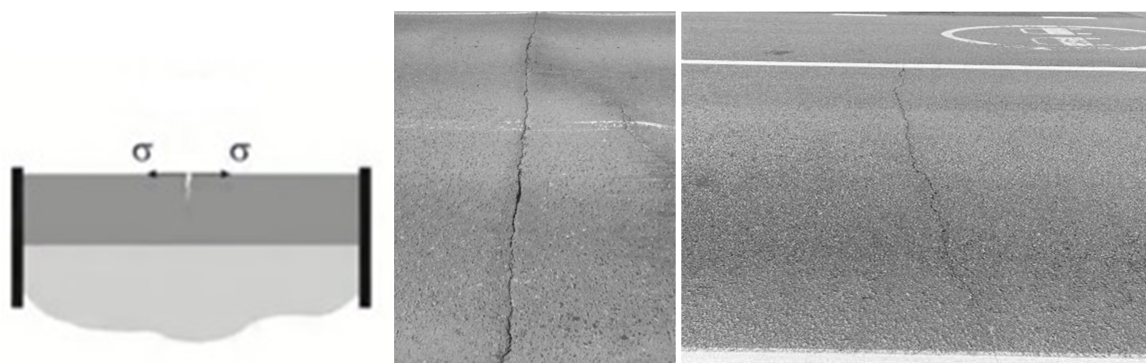


Рис. 5. Температурные трещины, возникающие в результате охлаждения и сопротивления покрытия температурной усадке



Рис. 6. Отраженные трещины, повторяющие трещины в нижележащих слоях

Совместное действие нагрузки от автомобилей и периодические изменения климатических условий являются причиной появления изгибающих и растягивающих напряжений во всех слоях дорожной одежды. Трещины возникают, если растягивающие напряжения в любой части дорожной одежды больше допустимых напряжений материалов, составляющих любой слой дороги. Образование трещины не произойдет в том случае, если прочность асфальтобетона будет больше, чем те напряжения, которые возникают в нем под нагрузкой.

Решением причины эксплуатационного трещинообразования является правильно подобранная конструкция дорожной одежды и корректно выполненный расчет. В последнем действующем нормативном документе по расчету нежестких дорожных одежд ГОСТ Р 71404-2024 указаны основные критерии расчета дорожных одежд на прочность. Из методики следует, что прочность дорожных одежд оценивается их способностью сопротивляться процессу развития остаточных деформаций и разрушений под воздействием нормальных и касательных напряжений, возникающих в конструктивных слоях и подстилающем грунте рабочего слоя земляного полотна от расчетной нагрузки, приложенной к поверхности покрытия.

Методика оценки прочности дорожных одежд включает в себя оценку прочности как конструкции в целом, так и напряжений, возникающих в отдельных конструктивных слоях и грунте рабочего слоя земляного полотна. При расчете дорожных одежд используют решения теории упругости для слоистого пространства, лежащего на упругом основании с учетом условий работы в зоне контакта на границе слоев (спаянный контакт при совместной работе в зоне контакта или гладкий контакт при свободном смещении слоев в зоне контакта).

К основным критериям расчета на прочность относятся:

Допускаемый упругий прогиб. Конструкция дорожной одежды удовлетворяет требованиям надежности и прочности по величине упругого прогиба при условии:

$$E_{общ} \geq E_{min} K_{np}^{np}, \quad (1)$$

где $E_{общ}$ – общий модуль упругости на поверхности дорожной конструкции, МПа; E_{min} – минимальный требуемый модуль упругости, МПа; K_{np}^{np} – требуемый коэффициент прочности.

Условие сдвигоустойчивости грунта рабочего слоя и конструктивных слоев из малосвязанных материалов. Недопустимые деформации сдвига в конструкции не будут накапливаться, если в грунте земляного полотна и в конструктивных слоях из малосвязанных материалов обеспечено условие:

$$T \leq \frac{T_{np}}{K_{np}^{np}}, \quad (2)$$

где T – активное напряжение сдвига от действующей кратковременной или длительной нагрузки, МПа; T_{np} –

предельное напряжение сдвига, превышение которого вызывает нарушение прочности на сдвиг, МПа; K_{np}^{np} – требуемый коэффициент прочности.

Сопротивление слоев асфальтобетона усталостному разрушению от растяжения при изгибе. Образование трещин от усталостного разрушения не будет происходить при выполнении условия:

$$\sigma_r < \frac{R_N}{K_{np}^{np}}, \quad (3)$$

где σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в слое, МПа; R_N – предельное напряжение на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений материалов, МПа; K_{np}^{np} – требуемый коэффициент прочности.

Кроме того, дорожную конструкцию проверяют на *морозоустойчивость*. Конструкция удовлетворяет требованиям по морозоустойчивости при соблюдении условия:

$$l_{пуч} < l_{доп}, \quad (4)$$

где $l_{пуч}$ – расчетное (ожидаемое) морозное пучение грунта земляного полотна; $l_{доп}$ – допустимая величина морозного пучения.

Анализ ГОСТ Р 71404-2024 показывает о необходимости дополнений и изменений в связи с отсутствием [2–5]:

- проверочных расчетов по критериям колееобразования и температурного трещинообразования конструкции;
- возможности расчета конструкций дорожных одежд с геосинтетическими материалами;
- расчетных характеристик на дорожно-строительные материалы, соответствующих вновь введенным нормативным документам на холодный асфальтобетон, холодную органоминеральную смесь;
- возможности расчета конструкции дорожных одежд с использованием современных технологий и материалов, в том числе с деструктуризацией цементобетонного покрытия и основания;
- различием расчетных характеристик асфальтобетонов для слоев покрытия и основания;
- методики расчета теплоизолирующих слоев, представленной в ОДН 218.046-01.

Выводы

1. Необходимо сравнение алгоритмов проектирования и расчета дорожной одежды в Российской Федерации с зарубежными методиками в целях составления эталонной и достоверной методики проектирования и расчета конструкции дорожной одежды нежесткого типа.

2. Предложенные дополнения по совершенствованию методики расчета конструкции дорожной одежды требуют проведения лабораторных и натурных исследований по установлению различий в ранее выпущенной нормативной литературе по проектированию и расчету дорожной одежды нежесткого типа.

Литература

1. Сафонов, Р. А. Типичные дефекты верхнего дорожного покрытия в России / Р. А. Сафонов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 75–84.
2. Совершенствование методики расчета нежестких дорожных одежд с учетом применения решения задачи теории упругости для многослойного полупространства / М. Ю. Горский, Г. Ф. Кадыров, А. В. Стрельцов, Е. Н. Симчук // Дороги и мосты ФАУ РОСДОРНИИ. – 2021. – № 2 (46). – С. 53–74.
3. Сенибабнов, С. А. Анализ нормативной документации по расчету прочностных характеристик дорожных одежд нежесткого типа по допускаемому упругому прогибу / С. А. Сенибабнов, К. А. Андрианов, А. Ф. Зубков // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2019. – № 1 (53). – С. 28–43.
4. Андрианов, К. А. Сравнительный анализ норм проектирования автомобильных дорог Монголии и Российской Федерации / К. А. Андрианов, И. В. Матвеева, П. Мягмарсүрэн // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт : материалы 3-й международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета (Тамбов, 27 июня 2016 г.). – Тамбов : Издательство Першина Р.В., 2016. – С. 150–155.
5. Дрогунов, Д. С. Анализ нормативной базы по расчету дорожной одежды нежесткого типа / Д. С. Дрогунов, К. А. Андрианов // Современная наука: теория, методология, практика : материалы V-й всероссийской (национальной) научно-практической конференции (Тамбов, 27–28 сентября 2023 г.). – Тамбов : Издательство ИП Чеснокова А.В., 2023. – С. 108–110.

*D.S. Drogunov, L.S. Zarapina, K.A. Andrianov, A.F. Zubkov
Tambov State Technical University*

TYPES OF DEFECTS IN PAVEMENT SURFACING CONSTRUCTION AND CAUSES OF THEIR FORMATION

The article considers typical defects of asphalt concrete pavement and base. The analysis of the main criteria for the calculation and design of non-rigid road surfaces in accordance with regulatory documents is carried out. Proposals have been formulated to improve the methodology for calculating the construction of the pavement. Further research directions have been identified.

Defects of the road surface, non-rigid road clothes, calculation method.

УДК 007.51:007.3



К.С. Серегичев, А.А. Суконицков
Вологодский государственный университет

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВЫДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИЙ ИЗ ВРЕМЕННОГО РЯДА

В статье рассматриваются вопросы прогнозирования электропотребления промышленных предприятий. Исследование проводится с использованием библиотеки `tsfresh` на языке `python`. Особенность данной библиотеки – автоматическое извлечение функций и признаков из временного ряда для дальнейшего использования в модели машинного обучения.

Прогнозирование, машинное обучение, временные ряды.

Организация АО «НПП Энергопромсервис» занимается внедрением на предприятия систем учета и диспетчеризации энергоресурсов. В настоящий момент реализовано более 500 проектов по автоматизации в данном направлении. Взаимодействуя с заказчиками как по внедренным системам, так и касательно предприятий, где мы только планируем начать работу, мы регулярно сталкиваемся с запросом о необходимости краткосрочного прогнозирования потребления электроэнергии для повышения эффективности управления энергохозяйством и, как результат,

снижения стоимости потребляемой электроэнергии на ее розничном рынке для предприятия.

В предыдущей статье [1] было проведено исследование возможностей такого прогнозирования с помощью моделей, скользящего среднего, авторегрессии и нейронных сетей. Наилучший результат был достигнут с использованием алгоритма скользящего среднего SARIMAX и составил 14,6 % средней абсолютной ошибки при прогнозировании на массиве данных за несколько месяцев, что является недостаточным для поставленных целей.

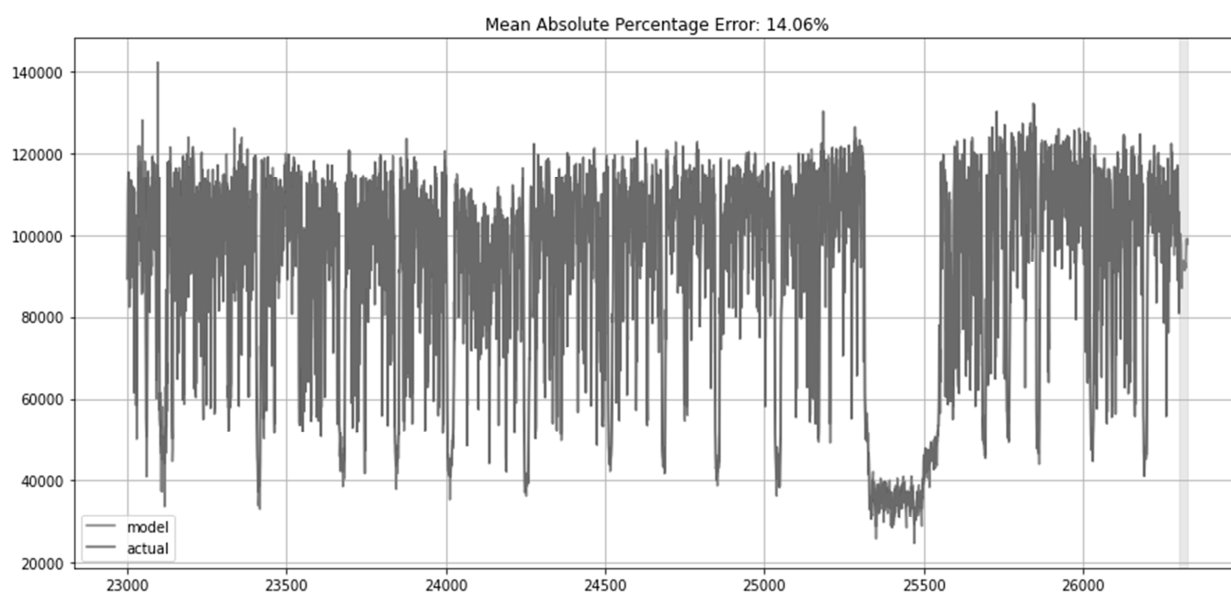


Рис. 1. График целевой переменной и предсказания, наложенные друг на друга, с выводом величины ошибки над графиком

Таблица 1

Исходные данные для прогнозирования

	time	P, кВт
0	2021-07-20 09:00:00	26.210
1	2021-07-20 10:00:00	25.596
2	2021-07-20 11:00:00	23.652
3	2021-07-20 12:00:00	25.469
4	2021-07-20 13:00:00	24.318

Так как потребление электроэнергии на крупных предприятиях является коммерческой тайной, их регулярное получение и использование в исследованиях затруднено. Для преодоления данного момента было проведено сравнительное исследование формы и характера потребления на металлургическом предприятии и в нашей компании. Выяснилось, что в обоих случаях имеют место быть формы потребления в виде ступенек высокого и низкого потребления, суточная, недельная и месячная цикличность, достаточно резкие переходы между моментами низкого и высокого потребления электроэнергии.

На основании этого было принято решение о возможности предварительных исследований на данных о потреблении электроэнергии в помещениях, занимаемых группой компаний АО «НПП Энергопром-сервис», ООО «Мависмарт», АО «ПЛЦ АС». Занимаемый ими этаж имеет собственное ВРУ с 2-мя вводами, которое охватывается собственной системой автоматического учета и диспетчеризации энергоресурсов. Здесь находятся рабочие места более 100 сотрудников, а также в качестве потребителей электроэнергии имеются стенды для проверки, наладки, проверки различного измерительного оборудования и средств автоматизации; климатическая система; центральная серверная, обеспечивающая облачные решения для взаимодействия внутри компаний, а также демо-комплекс внедряемых систем. В качестве основных исходных данных будут использованы усредненные за 1 час значения полной мощности по обоим вводам ВРУ. Прогнозирование будет выполнено только на основе предыдущих значений этого же временного ряда.

Прогнозирование временного ряда только на основе его предыдущих значений – сложная задача. Для ее решения обычно создают вспомогательные временные ряды на основе функций, выделенных из основного. Извлеченные таким образом функции используются для описания временного ряда, т.е. часто эти функции дают новое представление о временном ряде и его динамике. И далее их можно использовать для обучения моделей машинного обучения.

Современные достижения в области машинного обучения позволяют автоматизировать процесс извлечения функций и признаков из временного ряда для последующего использования в моделях машинного обучения. В нашем исследовании для автоматизации решения указанной задачи воспользуемся библиотекой tsfresh. Исследования с использованием данной библиотеки регулярно проводятся в мировом научном сообществе [2–4]. С ее помощью для наших исходных данных мы сможем дополнительно получить более 300 значимых функций из порядка 1300 доступных. В таблице 2 представлены некоторые из них.

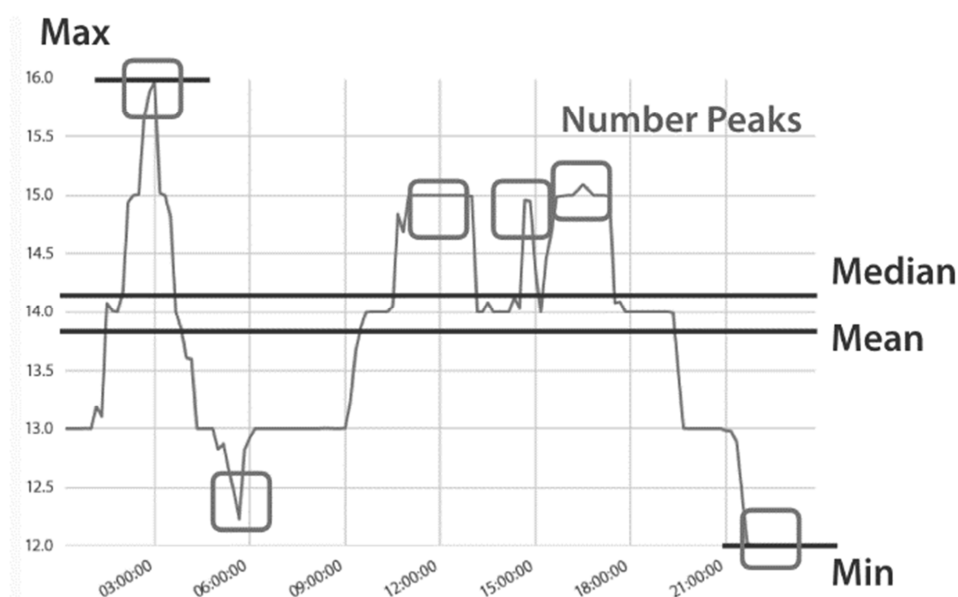


Рис. 2. Визуализация принципа выделения функций из временного ряда

Список некоторых функций, поддерживаемых библиотекой tsfresh

№	Наименование	Описание функции
1	<code>abs_energy</code> (x)	Возвращает абсолютную энергию временного ряда, которая представляет собой сумму квадратов значений.
2	<code>absolute_maximum</code> (x)	Вычисляет наибольшее абсолютное значение временного ряда x.
3	<code>absolute_sum_of_changes</code> (x)	Возвращает сумму по абсолютному значению последовательных изменений в серии x.
4	<code>agg_autocorrelation</code> (x, параметр)	Описательная статистика автокорреляции временных рядов.
5	<code>agg_linear_trend</code> (x, параметр)	Вычисляет линейную регрессию методом наименьших квадратов для значений временных рядов, которые были агрегированы по фрагментам, в сравнении с последовательностью от 0 до количества фрагментов минус один.
6	<code>approximate_entropy</code> (x, m, r)	Реализует векторизованный алгоритм приближенной энтропии.
7	<code>ar_coefficient</code> (x, параметр)	Этот калькулятор функций соответствует безусловной максимальной вероятности процесса AR (k) с авторегрессией.

Разделим наш табличный набор данных для обучения модели дерева регрессии с повышением градиента (GBRT) и оценим ее, используя в качестве функции ошибки «квантиль 95 %». Использование данной функции ошибки позволит научить модель действовать более «смело» при прогнозировании переходных процессов, что важно при прогнозировании электропотребления. Если наша модель нацелена на прогнозирование, т.е. прогнозирование будущих данных на основе прошлых данных, нам не следует использовать обучающие данные, которые предшествуют данным тестирования. При машинном обучении временным рядам предположение о независимом и идентично распределенном неверно, поскольку точки данных не являются независимыми и имеют временную взаимосвязь. Производительность модели составила 0,168 % средней абсолютной погрешности на тестовой выборке данных.

Ошибка обобщения, измеренная с помощью разделения обученных тестов в случайном порядке, может быть слишком оптимистична. Обобщение с помощью разделения по времени, вероятно, будет более репрезентативным для истинной производительности регрессионной модели. Оценим эту изменчивость нашей оценки ошибок с помощью надлежащей перекрестной проверки.

Ниже средние баллы CV и их стандартное отклонение. Вариабельность между срезами не велика, что говорит о правильности подготовки данных для обучения и тестирования.

CV MAPE: 0.206 ± 0.050 %.

В данном исследовании было выполнено прогнозирование потребления электроэнергии с использованием библиотеки tsfresh для автоматического извлечения функций из временного ряда. Полученный результат в 0,206 % средней абсолютной ошибки прогнозирования значительно превосходит лучший результат из предыдущего исследования в 14,06 %, который был получен с использованием модели скользящего среднего. Результаты исследования показали правильность выбора модели для прогнозирования потребления электроэнергии и возможность

проведения дальнейших экспериментальных исследований в данном направлении.

Литература

1. Серегичев, К. С. Кратковременное прогнозирование электропотребления современных энергоемких предприятий / К. С. Серегичев, А. А. Суконщиков // Вестник Вологодского государственного университета. – 2024. – № 2. – С. 36–39.

2. Крист, М. Извлечение объектов распределенных и параллельных временных рядов для промышленных приложений с большими данными / Кемпа-Лир А. В., Файндт М. // Азиатская конференция по машинному обучению (ACML), семинар по обучению работе с большими данными (WLBD). – 2016. – URL: <https://arxiv.org/abs/1610.07717v1> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

3. Крист, М. Извлечение признаков временных рядов на основе масштабируемых тестов гипотез (tsfresh – пакет Python) / Браун Н., Нойффер Дж., Кемпа-Лир А. В. – doi: 10.1016/j.neucom.2018.03.067 // Нейрокомпьютинг 307. – 2018. – С. 72–77.

4. Моделирование прогнозируемого разделения событий микролинизирования с использованием систематического анализа характеристик временных рядов / Кеннеди, А., Джемма Н., Раттенбери Н., Кемпа-Лир А. В. – doi: 10.1016/j.ascom.2021.100460 // Астрономия и вычислительная техника. – 2021. – С. 1–14.

5. Прогнозирование временных рядов TensorFlow. – URL: https://www.tensorflow.org/tutorials/structured_data/time_series?hl=ru (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

6. Lagged features for time series forecasting Scikit-learn. – URL: https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/applications/plot_time_series_lagged_features.html#lagged-features-for-time-series-forecasting (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

7. Feature extraction settings tsfresh. – URL: https://tsfresh.readthedocs.io/en/latest/text/feature_extraction_settings.html (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

K.S. Seregichev, A.A. Sukontschikov
Vologda State University

FORECASTING ELECTRICITY CONSUMPTION USING TIME SERIES FEATURE EXTRACTION

The article examines the issues of forecasting electricity consumption in the commercial real estate. The study is conducted using the tsfresh library in Python. The peculiarity of this library is the automatic extraction of functions and features from a time series for further use in a machine learning model.

Forecasting, machine learning, time series.

УДК 004.054



Н.С. Селянин, Д.В. Кочкин
Вологодский государственный университет

ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИИ-ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СЕРВИСНЫХ ЦЕНТРОВ

В статье представлены результаты разработки и внедрения автоматического ИИ-диагностического модуля для сервисных центров по ремонту электроники. Проведен анализ влияния использования данного модуля на скорость и точность предварительной диагностики неисправностей. Проверены результаты работы ИИ на примерах реальных заявок и проанализированы его преимущества по сравнению с традиционными методами диагностики. Определены основные аспекты, влияющие на точность и производительность системы, которые могут быть использованы в дальнейших исследованиях.

Искусственный интеллект, автоматизация, диагностика, ремонт электроники, предиктивная аналитика, сервисные центры, CRM-системы, машинное обучение.

Во многих сферах деятельности одной из основных проблем организации сервисных центров является скорость диагностики неисправных устройств и корректность выявления причин поломок [1]. Традиционные методы диагностики требуют значительных временных затрат и высокой квалификации сотрудников, что замедляет работу и увеличивает расходы.

С появлением методов машинного обучения и искусственного интеллекта стало возможным внедрение автоматических систем, которые позволяют оперативно обрабатывать данные и выдавать рекомендации на основе исторических примеров [2]. Автоматизация диагностики с использованием ИИ-модулей направлена на снижение времени простоя устройств и улучшение качества обслуживания клиентов.

Целью данной работы является разработка ИИ-диагностического модуля, который на основе вводимых данных о симптомах и характеристиках устройства способен выдавать предварительные выводы о возможных причинах неисправности и предлагать перечень необходимых для ремонта запчастей.

В настоящее время на рынке представлены решения для управления сервисными центрами, такие как 1С: Управление торговлей, Bitrix24 и другие CRM-системы [3]. Эти системы ориентированы на организацию бизнес-процессов и взаимодействие с клиентами, однако они не включают инструменты для автоматического анализа данных о неисправностях.

Решения, основанные на ручном вводе данных и чек-листах, требуют высокой квалификации оператора и не обеспечивают должной точности диагностики. Использование искусственного интеллекта в этом контексте предоставляет возможность автоматизировать процесс анализа симптомов и повысить точность результатов [4, 5]. ИИ-системы, обученные на данных реальных ремонтов, могут выявлять скрытые законо-

мерности и обеспечивать более глубокий уровень анализа.

Для реализации ИИ-диагностического модуля использовались методы машинного обучения, такие как деревья решений и нейронные сети. Основной задачей было создание модели, которая способна на основе введенных данных о симптомах и типах устройств определять вероятные причины неисправности. Модель обучалась на данных, включающих более 5000 случаев ремонтов различных типов устройств с указанием симптомов, проблем и итогов ремонта.

Основные этапы работы:

1. **Сбор данных:** исторические данные сервисного центра о типах поломок, затратах времени и материалах на ремонт.

2. **Предварительная обработка:** преобразование данных в формат, удобный для машинного обучения, нормализация и устранение выбросов.

3. **Создание модели:** обучение на основе метода классификации и дальнейшая проверка точности модели.

4. **Тестирование:** оценка эффективности на новых, не включенных в обучение данных.

Архитектура системы представлена следующим образом: на верхнем уровне система включает в себя три основные подсистемы: модуль сбора данных, модуль предобработки данных и модуль анализа.

Модуль сбора данных отвечает за получение и хранение всей входящей информации от клиентов и сервисных сотрудников. После этого данные передаются в модуль предобработки, который устраняет выбросы и аномальные значения, преобразует текстовые данные в числовой формат и нормализует показатели.

На следующем этапе модуль анализа включает в себя несколько моделей машинного обучения: деревья решений для диагностики стандартных неисправ-

ностей и нейронные сети для распознавания более сложных неисправностей. Каждая модель обучена на уникальном подмножестве данных и оптимизирована для повышения точности предсказаний.

На рисунке 1 представлена блок-схема архитектуры ИИ-модуля диагностики, показывающая взаимодействие всех компонентов системы.



Рис. 1. Блок-схема архитектуры ИИ-модуля диагностики

Разработанный ИИ-диагностический модуль включает в себя следующие компоненты:

1. **Модуль ввода данных.** Пользователь вводит информацию о типе устройства, модели и выявленных симптомах. Эти данные автоматически отправляются в ИИ-модуль для дальнейшей обработки.

2. **ИИ-алгоритм диагностики.** Алгоритм анализирует введенные данные, сопоставляя их с историческими примерами поломок. В основе лежит модель классификации, обученная на большом объеме данных, что позволяет учитывать множество параметров и давать точные предсказания.

3. **Вывод возможных причин неисправности.** На основе анализа алгоритм выдает список возможных причин с указанием вероятности каждой из них. Например, для проблемы «не включается устройство» возможными причинами могут быть: поломка блока питания (70 %), проблема с материнской платой (20 %), сбой программного обеспечения (10 %).

4. **Предложения по ремонту и интеграция со складом.** Алгоритм выдает список необходимых для ремонта запчастей и проверяет их наличие на складе. В случае отсутствия система уведомляет оператора о необходимости заказа деталей.

Для обучения системы использовался расширенный набор данных, включающий более 5000 записей о ремонтах различных устройств, таких как смартфоны, ноутбуки и планшеты. Примеры записей представлены в таблице.

На рисунке 2 представлены результаты внедрения ИИ-диагностического модуля. Они показали снижение среднего времени диагностики с 120 до 80 минут.

Результаты тестирования показали, что использование ИИ-диагностического модуля позволило сократить среднее время диагностики на 30 % и повысить точность определения неисправностей до 85 % по сравнению с ручными методами (рис. 3).

Таблица

Примеры записей

№	Устройство	Симптомы	Диагноз	Итог
1	Apple iPhone 12	Не заряжается, перегрев при подключении к сети	Повреждение контроллера питания	Замена контроллера питания, проверка цепей питания
2	HP Pavilion x360	Не включается, отсутствие индикации питания	Проблема с материнской платой	Замена материнской платы и восстановление данных
3	Samsung Galaxy Tab S7	Быстро разряжается, экран мерцает при низкой яркости	Неисправный аккумулятор	Замена аккумулятора, проверка цепей питания
4	Dell Inspiron 15 3000	Медленно загружается, ошибки BIOS	Сбой прошивки BIOS	Перепрошивка BIOS, тестирование системы
5	Lenovo Yoga 720	Не определяется жесткий диск, посторонние звуки при работе	Неисправный HDD	Замена жесткого диска, восстановление данных
6	Microsoft Surface Pro 7	Перегревается, частые сбои системы	Повреждение системы охлаждения	Замена вентилятора и термопасты
7	Asus ZenBook UX425	Черный экран при запуске, не реагирует на команды	Неисправность видеокарты	Замена видеокарты, обновление драйверов
8	Huawei MateBook D15	Трещины на экране, проблема с откликом сенсора	Повреждение сенсорного экрана	Замена сенсорного модуля
9	Acer Aspire 5	Тормозит при работе, резкие шумы из корпуса	Проблема с жестким диском	Замена HDD на SSD, оптимизация системы
10	Google Pixel 5	Камера не фокусируется, размытое изображение	Неисправный модуль камеры	Замена модуля камеры, проверка программного обеспечения

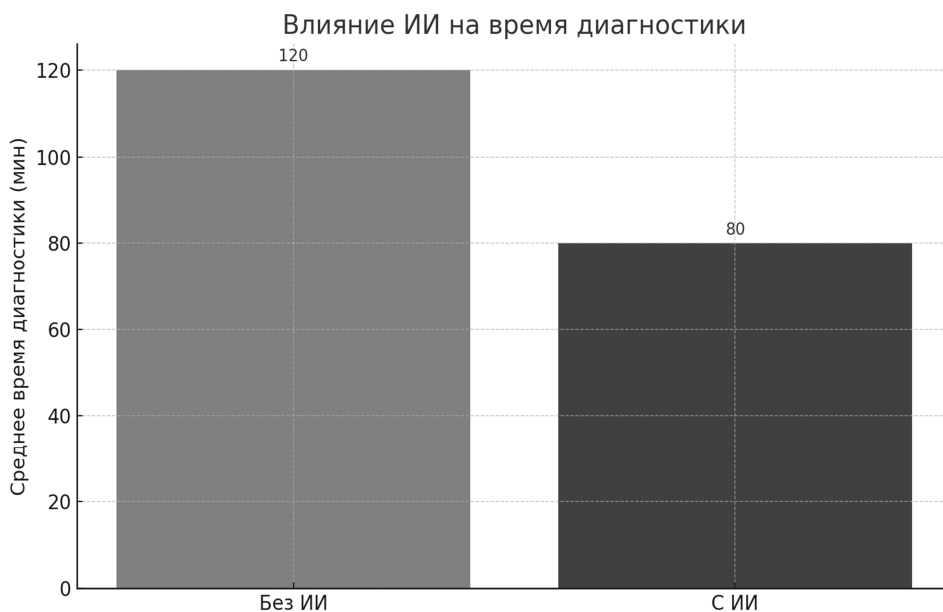


Рис. 2. Влияние ИИ на время диагностики

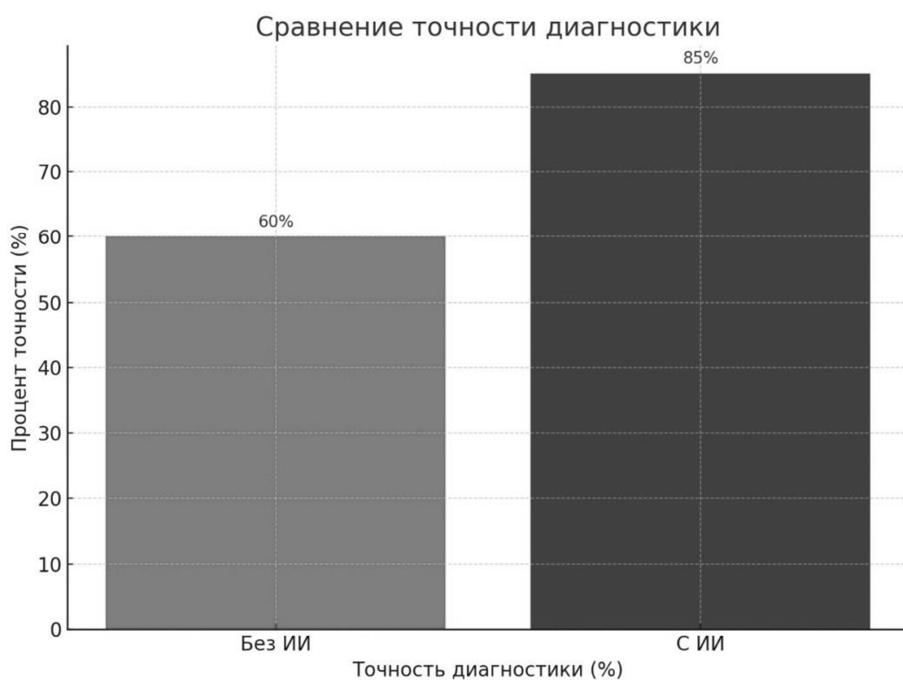


Рис. 3. Сравнение точности диагностики

Внедрение модуля также снизило нагрузку на специалистов сервисного центра и позволило ускорить процесс обслуживания клиентов.

Автоматизация диагностики с помощью ИИ открывает новые перспективы для развития сервисных центров, делая процессы обслуживания более эффективными и экономичными. Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение точности модели и добавление поддержки новых типов устройств.

Литература

1. Мустафина, С. И. Применение нейронных сетей для диагностики и прогнозирования технического состояния оборудования / С. И. Мустафина, С. А. Жиляков // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2023. – № 7(600). – С. 13–21. – DOI: 10.33285/2782-604X-2023-7(600)-13-21.
2. Стариков, В. В. Использование искусственного интеллекта в промышленных системах автоматизации: возможности и перспективы / В. В. Стариков // Научные исследования и разработки. – Георгиевск : Георгиевский техникум механизации, автоматизации и управ-

ления, 2023. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-iskusstvennogo-intellekta-v-promyshlennoy-avtomatizatsii> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

3. Обзор Битрикс24: функциональные возможности и особенности платформы // Официальный сайт Битрикс24. – Москва, 2023. – URL: <https://www.bitrix24.ru> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

4. Интеллектуальные информационно-телекоммуникационные системы / А. Н. Швецов, А. А. Су-

конщиков, И. А. Андрианов [и др.]. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2023. – 127 с.

5. Махонин, М. Н. разработка системы распознавания товаров на базе нейронных сетей / М. Н. Махонин, Д. В. Кочкин // Школа практических инноваций – инженерному бизнесу региона : материалы Всероссийской научно-практической конференции памяти профессора Александра Николаевича Шичкова (Вологда, 19 января 2024 г.). – Вологда : Вологодский государственный университет, 2024. – С. 177–182.

N.S. Selyanin, D.V. Kochkin

Vologda State University

IMPACT OF AUTOMATIC AI-DIAGNOSTIC MODULE USE ON SERVICE CENTERS EFFICIENCY

The article presents the results of development and implementation of automatic AI-diagnostic module for service centers for electronics repair. The analysis of the impact of this module on the speed and accuracy of preliminary diagnostics of faults is carried out. The results of AI operation are tested on examples of real requests and its advantages compared to traditional diagnostic methods are analyzed. The main aspects affecting the accuracy and performance of the system are determined, which can be used in further research.

Artificial intelligence, automation, diagnostics, electronics repair, predictive analytics, service centers, CRM systems, machine learning.



А.М. Полянский
Вологодский государственный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДИСЦИПЛИН

В статье обсуждаются различные аспекты разработки и применения электронных учебно-методических комплексов дисциплин на основе процессных моделей и учета затрат по видам деятельности. Приведены результаты исследования научных и методических разработок, нормативной базы в сфере электронных образовательных ресурсов. Выявлены особенности разработки и применения электронных образовательных ресурсов. Представлены результаты апробации моделей на примере одной из преподаваемых автором дисциплин.

Процессная модель, система дистанционного обучения, электронный учебно-методический комплекс дисциплины.

Электронные учебно-методические комплексы дисциплин (далее – ЭУМКД) как «структурированные совокупности электронной учебно-методической документации, электронных образовательных ресурсов, средств обучения и контроля знаний» [1] становятся все более популярными в среде высшего и среднего специального образования как в традиционных очных, так и в дистанционных формах обучения. Различным аспектам разработки ЭУМКД и, в частности, оценке необходимых средств технологической поддержки разработки и применения ЭУМКД, вопросам эффективности их использования посвящено немало современных исследований и методических разработок [2, 3]. Однако, как и в других областях автоматизации человеческой деятельности, в сфере образования необходимо четко сопоставлять объемы и динамику использования различных привлекаемых для реализации процесса ресурсов в его традиционном и автоматизированном вариантах с точки зрения баланса затрат и выгод.

Целью исследования является формирование методики оценки ресурсов, необходимых для разработки и реализации ЭУМКД в среде системы дистанционного обучения (далее – СДО) студентов.

Задачи исследования:

1. Выявить особенности разработки и применения ЭУМКД, используемых в вузе, по сравнению с традиционными технологиями подготовки и преподавания учебных дисциплин.
2. Разработать модели процессов подготовки и применения ЭУМКД с использованием современной СДО.
3. Провести апробацию моделей на примере одной из преподаваемых автором дисциплин.

Стандартизация электронных образовательных ресурсов

В наше время действует целый комплекс международных и отечественных стандартов, регулирующих создание и применение информационных систем, ресурсов и продуктов в образовании. Применительно к теме исследования это, прежде всего, ГОСТ Р 55751-2013, содержащий основные требования и характеристики ЭУМКД [1], ГОСТ 33247-2015, регламентирующий структуру метаданных для образовательных ресурсов [4], ГОСТ ISO/IEC 19788-3-2015, описывающий основной профиль применения таких метаданных [5]. При разработке материалов ЭУМКД, в частности при выборе форматов представления и обмена информацией, важно следовать рекомендациям SCORM (Sharable Content Object Reference Model).

В Вологодском государственном университете разработан и успешно применяется собственный локальный акт, регламентирующий порядок создания и использования ЭУМКД в учебном процессе, их структуру, содержание и оформление [6].

Особенности разработки и применения ЭУМКД в вузе

Особенностями разработки и применения ЭУМКД, используемых в вузе, по сравнению с традиционными технологиями подготовки и преподавания учебных дисциплин, являются:

- существенно большее разнообразие и количество генерируемых и заимствуемых для ЭУМКД информационных объектов;
- стандартизация форматов и параметров представления различных информационных объектов (шрифты, цветовая гамма, элементы фирменного стиля и проч.);

- интерактивный характер взаимодействия с материалами ЭУМКД как преподавателя, так и обучающихся;
- необходимость оперативной актуализации информации, сохранения ссылочной целостности, синхронизации действий участников учебного процесса и ряд других.

При разработке процессных моделей необходимо учитывать различные этапы жизненного цикла ЭУМКД как информационной системы, в частности:

- этап разработки, согласования и утверждения;
- этап опытной эксплуатации;
- этап применения и поддержки применения;
- этап модернизации;
- этап снятия с эксплуатации и архивирования информации.

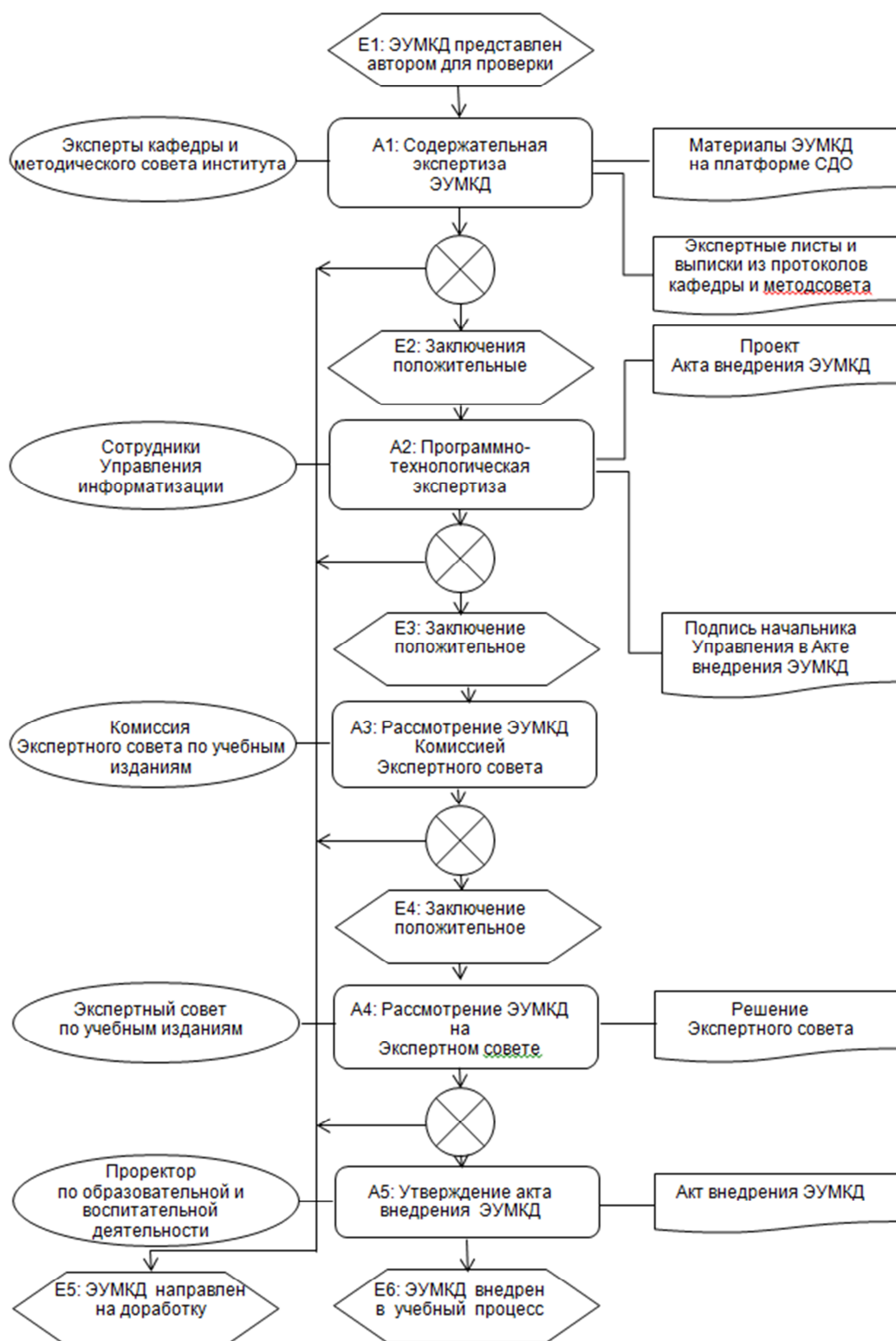


Рис. Фрагмент eEPC-диаграммы процесса рассмотрения и утверждения ЭУМКД

На этапе разработки, согласования и утверждения ЭУМКД в основном используются информационные, технологические и интеллектуальные ресурсы авторов, а также лиц, определенных регламентом для проверки, согласования и утверждения комплекса, документы организации учебного процесса: образовательные стандарты (далее – ФГОС), образовательные программы (далее – ОПОП), рабочие программы дисциплин (далее – РПД), учебные планы и проч.

На этапе опытной эксплуатации выполняется апробация комплекса в условиях реальной СДО на той или иной фокус-группе обучающихся и принимается решение о внедрении его в учебный процесс. Здесь, кроме ресурсов участвующих на данном этапе лиц, интенсивно используются ресурсы СДО и связанных с нею систем.

Этап применения и поддержки применения предполагает регулярное применение ЭУМКД в учебном процессе и оценку его эффективности с точки зрения качества обучения, степени загрузки преподавателей и студентов, инфраструктуры вуза, экономической эффективности и проч.

На этапе модернизации проводится настройка или переработка ЭУМКД в соответствии с изменениями ФГОС, ОПОП, учебных планов, РПД, технологий преподавания и проч.

Этап снятия ЭУМКД с эксплуатации среди прочего должен включать архивирование учебных и контрольно-проверочных материалов, системных журналов, результатов обучения, студенческих работ и прочих документов, для которых определены сроки архивного хранения.

Модели процессов подготовки и применения ЭУМКД

Модели протекающих на рассмотренных этапах процессов регламентируются нормативными актами вуза и должны учитывать последовательность активностей (операций) процесса, участвующих в нем лиц, средств материально-технической поддержки, привлекаемые ресурсы, промежуточные и конечные результаты деятельности, ключевые события и условия принятия решений, прочие аспекты. Для графического представления процессов автором использовалась нотация ARIS, фрагмент модели процесса рассмотрения и утверждения ЭУМКД в виде eEPC-диаграммы приведен на рисунке. Основным активностям процесса соотнесены их исполнители и информационные объекты, используемые или генерируемые в ходе выполнения процесса. Компоненты среды технологической поддержки процесса, условия ветвления путей и атрибуты объектов и функций на рисунке не показаны, поскольку затрудняют визуальное восприятие.

Расширенное функциональное представление процесса позволяет далее использовать методику ABC (Activity Based Costing, пооперационное исчисление стоимости) для расчета потребностей и динамики потребления различных ресурсов. Для выполнения расчетов событиям E1...E6 на основании норм [6] присваиваются значения атрибутов времени и усло-

вий совершения, участникам процесса (эксперты, члены Комиссии, члены Экспертного совета) – значения атрибутов профессиональной принадлежности, квалификационного уровня и научного направления (специальности) или преподаваемых дисциплин, операциям процесса A1...A5 – значения атрибутов трудоемкости, ресурсоемкости и стоимости, которые могут быть заданы в абсолютных значениях или в ограничениях.

Апробация моделей

Апробация моделей потребления ресурсов выполнена на примере дисциплины «Разработка PLM-систем», ЭУМКД которой применяется в вузе с 2021 года на платформе MOODLE [7]. В первую очередь исследовались модели потребления людских ресурсов по ролям преподавателей и обучающихся. Анализ плановых (по моделям) и реальных затрат ресурсов показывает существенный рост трудоемкости работ для преподавателя на этапе разработки, согласования и утверждения ЭУМКД, а также на этапе модернизации, связанный с необходимостью оформления материалов занятий в форме текстов, инфографики и презентаций, которые должны быть более подробными и качественно выполненными по сравнению с традиционными конспектами. Велика трудоемкость разработки и формирования банка данных вопросов для тестирования обучающихся в требуемом разнообразии и количестве, а также с учетом необходимости равномерного покрытия тестовым материалом всей тематики дисциплины, чему посвящено отдельное исследование [8].

На этапах применения и поддержки применения ЭУМКД в СДО вуза объем консультационной работы преподавателя возрастает пропорционально численности обучающихся, поскольку консультации вынужденно носят индивидуальный характер, а также неравномерность нагрузки, связанная с проверкой результатов и защитой лабораторных и практических работ. Процессные модели позволяют вести учет реальных затрат времени преподавателя и студента (на текущий контроль, оформление и проверку отчетов по работам, участие в форуме и проч.).

Наконец, поскольку все материалы ЭУМКД имеют публичный характер, возрастает нагрузка, связанная с необходимостью регулярной актуализации материала, например при выходе новых стандартов и норм предметной области дисциплины.

Вместе с тем, наличие ЭУМКД создает условия для более объективного контроля качества учебного процесса, обеспечения преемственности в коллективе преподавателей, существенно расширяет возможности студента по освоению дисциплин в удобных для него режимах и формах, снижает трудоемкость поиска и применения необходимой информации.

Модели потребления технологических ресурсов формируются преимущественно в рамках ограничений, задающих нижние границы производительности и версии программно-технических платформ, применяемых в СДО, а также на рабочих местах пре-

подавателей и обучающихся. Возможности доступа к облачным сервисам глобальных интернет-провайдеров снижают требования к наличию локальных версий популярных офисных и специальных приложений, одновременно повышая требования к пропускной способности каналов передачи данных, версиям программно-аппаратных платформ, гарантиям доступности удаленных ресурсов.

Разработчик ЭУМКД должен предоставлять участникам образовательного процесса описание технологического решения по доступу к материалам комплекса: возможности и ограничения выбранной платформы для видеоконференций, виды и минимальные характеристики пропускной способности каналов доступа, рекомендуемые программно-аппаратные средства, обеспечивающие успешное проведение занятия, информационные ресурсы, привлекаемые для проведения занятия, и проч.

Заключение

Результаты проведенного исследования показывают, что разработка и применение в учебном процессе ЭУМКД требуют привлечения значительных людских и материальных ресурсов, объективного учета специфики и трудоемкости работ, обеспеченности средствами технологической поддержки, что должно учитываться при планировании нагрузки профессорско-преподавательского состава. Показано, что положительный эффект внедрения ЭУМКД с точки зрения экономии затрат достигается в основном на стороне обучающихся.

Литература

1. ГОСТ Р 55751-2013. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Электронные учебно-методические комплексы. Требования и характеристики : введен 2015- 01-01. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 11 с. – Текст : непосредственный.
2. Михайлова, В. Е. Разработка электронных учебно-методических комплексов в организации про-

фессионального образования // Наука и практика в образовании : электронный научный журнал. – 2023. – Т. 4. – № 5. – С. 180–186. – URL: https://doi.org/10.54158/27132838_2023_4_5_180 (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

3. Издательский центр Академия : официальный сайт. – URL: https://academia-moscow.ru/e_learning/eumk/ (дата обращения: 24.10.2024). – Текст : электронный.

4. ГОСТ 33247–2015 (ISO/IEC 19788-1:2011). Информационные технологии. Обучение, образование и подготовка. Метаданные для образовательных ресурсов. Часть 1 Структура : введен 2016-11-01. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 28 с. – Текст : непосредственный.

5. ГОСТ ISO/IEC 19788-3–2015 (ISO/IEC 19788-3:2011, IDT). Информационные технологии. Обучение, образование и подготовка. Метаданные для образовательных ресурсов. Часть 3 Основной профиль применения : введен 01.03.2017. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 27 с. – Текст : непосредственный.

6. Порядок разработки электронных учебно-методических комплексов и онлайн-курсов в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Вологодский государственный университет». – Текст : электронный // Вологодский государственный университет : официальный сайт. – URL: <https://vogu35.ru/obrazovatelatelnost/ekspert-sovet-ucheb-izd> (дата обращения: 31.12.2023).

7. Открытая обучающая платформа MOODLE : официальный сайт. – URL: <http://moodle.org> (дата обращения: 31.12.2023). – Текст : электронный.

8. Диагностика результатов освоения компетенций в информационной среде обучения студентов ИТ-направлений / Андрианов И. А., Полянский А. М., Ржеуцкая С. Ю., Харина М. В. – Открытое образование. – 2023. – Т. 27, № 4. – С. 17–28.

A.M. Polianskiy

Vologda State University

MODELING PROCESSES OF DEVELOPMENT AND APPLICATION OF ELECTRONIC TEACHING MATERIALS

The article discusses various aspects of the development and application of electronic academic and methodological complexes of disciplines based on process models and costing by types of activity. The results of the study of scientific and methodological developments, the regulatory framework in the field of electronic educational resources are presented. The features of the development and application of electronic educational resources are identified. The results of testing the models on the example of one of the disciplines taught by the author are presented.

Process model, distance learning system, electronic academic and methodological complex of the discipline.

М.И. Вольников¹, Е.М. Вольников²¹Пензенский государственный технологический университет,²Московский авиационный институт (МАИ)

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ГЕТЕРОСТРУКТУР

Актуальность обусловлена недостаточной изученностью и разработанностью моделей динамики сложных гетероструктур. Современные мехатронные системы работают в экстремальных условиях, обусловленных кинематическими, динамическими, температурными, вибрационными и другими внешними факторами и подвергаются внешним воздействиям. Изучение фундаментальных основ и развитие гетероструктурных моделей динамики на модели со многими степенями свободы позволяют изучать поведение гетероструктур под действием механических и вибрационных сил. Для этого требуется построение соответствующих математических моделей, позволяющих с достаточной степенью адекватности описывать процессы, происходящие в сложных гетероструктурах.

Дифференциальные уравнения, гетероструктуры, мехатроника, ударные процессы.

Введение

Сложные гибридные гетероструктуры, постоянно подвергаются внешним воздействиям, среди которых наиболее сильное влияние оказывают вибрационные и ударные воздействия. Недостаточная изученность сложных гибридных гетероструктур и, как следствие, проблема разработки моделей защиты гетероструктур мехатроники для изучения поведения гетероструктур делает работу актуальной.

Для динамических перемещений могут быть использованы фундаментальные модели гетероструктур, позволяющие анализировать результаты воздействий ударных нагрузок на изделия мехатроники.

Методология

Для разработки защиты сложных гетероструктур в современных условиях необходимо использование математических моделей для проведения вычислительных экспериментов. Так, для оценки технологий виброударозащиты гетероструктур используются фундаментальные модели гетероструктур [1] без учета и с учетом внутреннего трения, позволяющие анализировать результаты воздействий нагрузок на различные изделия.

Для описания процессов, происходящих под действием ударных нагрузок, привлекается аппарат численно-аналитического моделирования [2, 3], который предполагает использование численных методов и вычислительной техники.

Результаты.

Фундаментальные модели для изучения динамики гетероструктур

При ударе груза массой m , движущегося горизонтально со скоростью v_0 , по пружине с массой $m_s = 0$ процесс совместного движения груза и пружины описывается уравнением

$$z = C_1 \sin p_0 t + C_2 \cos p_0 t, \quad (1)$$

где $p_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$ – частота собственных колебаний груза, присоединенного к пружине, c – жесткость пружины.

При $t = 0$, $z = 0$ и $\dot{z} = v_0$ постоянные

$$C_1 = \frac{v_0}{p_0}, C_2 = 0 \text{ и } z = \frac{v_0}{p_0} \sin p_0 t, z_{\max} = \frac{v_0}{p_0}.$$

Наибольшая величина силы P_{\max} , сжимающей пружину (динамическая нагрузка), определяется выражением

$$P_{\max} = z_{\max} c = \frac{v_0 c}{p_0}. \quad (2)$$

Из условия энергетического баланса [4], приравняв кинетическую энергию движущегося груза T потенциальной энергии сжатой пружины Π , можно получить

$$T = \Pi = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{P_{\max}^2}{c}, P_{\max} = v_0 \sqrt{mc} = \frac{v_0 c}{p_0}.$$

При ударе груза массой m , движущегося вертикально со скоростью v_0 , по пружине с массой $m_s = 0$, пружина получает динамический прогиб z_d .

$$z_d = z_c \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2T}{cz_c^2}} \right], \quad (3)$$

$$\text{или } z_d = z_c \chi,$$

где $z_c = \frac{mg}{c}$ – статический прогиб, который получила бы пружина под действием приложенной силы.

$$\chi = 1 + \sqrt{1 + \frac{2T}{cz_c^2}}, \quad (4)$$

где χ – коэффициент динамичности, $\chi = \frac{z_d}{z_c}$.

Внутренние силы и напряжения изменяются при ударе в том же соотношении $\sigma_d = \chi \sigma_c$.

Коэффициент динамичности зависит от жесткости системы и кинетической энергии падающего груза. В частности, при мгновенном опускании груза кинетическая энергия $T = 0$ и тогда $\chi = 2$. В этом случае

$$z_{max} = 2z_c, \sigma_d = 2\sigma_c.$$

При ударе груза массой m , движущегося вертикально со скоростью v_0 , по пружине с буфером массой m_1 на ней, обе массы после удара движутся с общей скоростью v .

Из условия сохранения количества движения $mv_0 = (m + m_1)v_1$

$$v_1 = \frac{mv_0}{(m + m_1)}.$$

Формула (4) в этом случае примет вид

$$\chi = 1 + \sqrt{1 + \frac{2T}{cz_c^2(1+m_1/m)}}. \quad (5)$$

На рисунке представлена зависимость коэффициента динамичности χ от начальной скорости груза v_0 при различных соотношениях масс $k = \frac{m_1}{m} = 0,25; 0,5; 1$ и значении $c = 100$ Н/м.

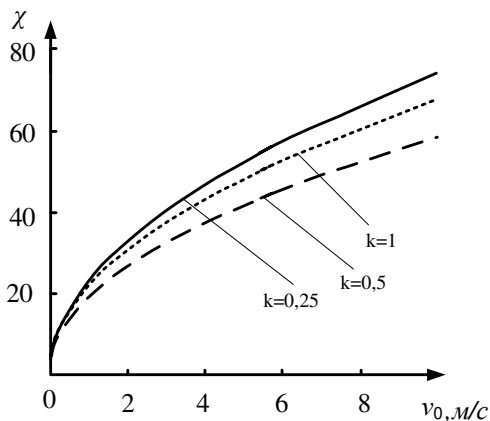


Рис. Зависимость коэффициента динамичности χ от начальной скорости груза v_0

Модель с множеством степеней свободы

Движение системы с N степенями свободы описывается дифференциальными уравнениями вида [5]

$$m_k \ddot{z}_k + \sum_{r=1}^N (a + ib) c_{kr} z_r = 0, (k = 1, 2, \dots, N), \quad (6)$$

где z_k – комплексные перемещения массы m .

Вещественные перемещения $Re Z_k$ обозначим z_k при начальных условиях

$$z_k(0) = 0, m_k \dot{z}_k(0) = S_k^0. \quad (7)$$

$$z_k = \sum_{i=1}^N z_{ik} e^{-\frac{\gamma}{2} p_i t} \cos(p_i t + v_i). \quad (8)$$

Выражение (8) представляет собой разложение решений диссипативной системы уравнений (6) по формам собственных колебаний. Представим z_{ik} в виде разложения:

$$z_{ik} = c_k \varphi_{ik},$$

где φ_{ik} – коэффициенты форм собственных колебаний, определяемые из $N(N - 1)$ уравнений.

$$\varphi_{ik} = p_i^2 \sum_{r=1}^N m_r \delta_{ir} \varphi_{kr}.$$

Из $2N$ уравнений

$$\cos v_i = 0;$$

$$m_i \sum_{k=1}^N c_k \varphi_{ik} p_i = -S_i^0, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

при начальных условиях (7) определяем v_i и c_k .

Тогда решение (8) примет вид

$$z_k = \sum_{i=1}^N z_{ik} e^{-\frac{\gamma}{2} p_i t} \sin p_i t,$$

где $z_{ik} = \frac{\varphi_{ik}}{p_i \sum_{r=1}^N \varphi_{ir} S_r^0}$, $p_i = \left[1 + \frac{\gamma^2}{4}\right]^{-(1/2)} p_i^0$;

p_i^0 – угловые частоты незатухающих колебаний, определяемые из уравнения $|m_r \delta_{ir} - (p_i^0)^2 \chi_{ir}| = 0$ при $\gamma = 0$ ($a = 0, b = 0$), в данном случае $p_i = p_i^0$; χ_{ir} – символ Кронекера; $\chi_{ir} = 1$ при $i = r$, $\chi_{ir} = 0$ при $i \neq r$; δ_{ir} – перемещение массы m_i от статического действия единичной силы на массу m_r .

Обсуждение

Разработанные модели могут найти широкое применение в технике и технологиях, например строительные балочные и стержневые конструкции, мачтовые сооружения.

Немаловажным является возможность моделировать поведение диссипативных систем с учетом трения (8).

Модели позволяют исследовать динамические процессы, происходящие под действием импульсных нагрузок.

Для адекватного описания процессов, происходящих под действием ударных нагрузок, может привлекаться аппарат численно-аналитического моделирования, который предполагает использование численных методов и вычислительной техники.

Заключение

Развита теория построения моделей гетероструктур. Предложены фундаментальные математические модели гетероструктур, используемых для описания процессов в системах мехатроники. Изучено на моделях поведение гетероструктур при наличии воздействия в виде ударной нагрузки. Представлены результаты моделирования. Описаны обобщенная модель гетероструктур со множеством степеней свободы.

Литература

1. Kazantsev, N. R. Application of fundamental laws of nature in creating mathematical models / N. R. Kazantsev // Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации. – 2021. – № 20. – Р. 29–30.
2. Ерохин, С. В. Применение численно-аналитических методов в моделировании строительных конструкций / С. В. Ерохин, С. В. Шашкин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 2. – С. 57–60.
3. Численное моделирование воздействия сейсмических волн на породный массив, вмещающий под-

земные сооружения / А. П. Господариков, М. А. Зацепин, Я. Н. Выходцев, Ч. Т. Нгуен // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 7. – С. 115–130. – DOI 10.25018/0236_1493_2022_7_0_115.

4. Большаков, А. А. Прямоугольная пластина на двухпараметрическом упругом основании: аналити-

ческое решение / А. А. Большаков // Вестник Самарского государственного университета. Естественно-научная серия. – 2011. – № 8 (89). – С. 128–133.

5. Справочник проектировщика / под редакцией В. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. – Москва : Стройиздат, 1984. – 304 с.

M.I. Volnikov¹, E.M. Volnikov²
¹Penza State Technological University,
²Moscow Aviation Institute

FUNDAMENTAL MODELS OF HETEROSTRUCTURES DYNAMICS

Relevance is due to the lack of knowledge and development of models of dynamics of complex heterostructures. Modern mechatronic systems operate under extreme conditions, which are caused by kinematic, dynamic, temperature, vibration and other external factors and are exposed to external influences. The study of fundamental foundations and the development of heterostructural models of dynamics on models with many degrees of freedom allow to study the behavior of heterorstructures under the action of mechanical and vibrational forces. This requires the construction of appropriate mathematical models that allow to describe processes occurring in complex heterostructures with a sufficient degree of adequacy.

Differential equations, heterostructures, mechatronics, impact processes.



Т.С. Ларкина
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске, Белорусско-Российский университет

К ВОПРОСУ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ДЛЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В статье описан метод анализа динамической модели химических источников тока для тяговых электроприводов. Представленное исследование дает возможность для разработки комбинированных энергоустановок. В статье представлены математическое описание и обобщенная структурная схема химических источников тока для тяговых электроприводов. Для исследований были применены пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений MATLAB Simulink. Рассмотрена возможность применения среды динамического и функционального моделирования технических систем SimInTech, выполненной российскими разработчиками.

Химические источники тока, ХИТ, аккумуляторная батарея, АКБ, MATLAB, Matlab Simulink, Simintech, моделирование.

Химические источники тока (ХИТ) представляют собой преобразователи химической энергии в электрическую. В ходе химической реакции взаимодействующих реагентов происходит основная работа ХИТ (разряд). Выделяется во время разряда энергия в форме энергии постоянного электрического тока [1].

Различают ХИТ в зависимости от размеров, природы протекания реакций токообразования и конструкции, что влияет в свою очередь на параметры эксплуатации. Стоит отметить, что ХИТ может быть применено в различных, в том числе специфических областях, потому обосновано подобное разнообразие ХИТ.

Вопрос энергосбережения в сфере деятельности электротранспорта представляет собой важную задачу в области инженерии и технологии.

Управление тяговыми электродвигателями осуществляется при помощи преобразователей на транзисторных ключах с высокой частотой коммутации. Однако с ростом частоты влияние величин электрической емкости C и индуктивности L увеличивается, несмотря на то, что величины C и L малы [2].

По этой причине для анализа динамических свойств тяговых электроприводов возникает необходимость определения инерционности источников питания.

Эквивалентная схема замещения ХИТ для внутреннего сопротивления может иметь следующий вид (рис. 1).

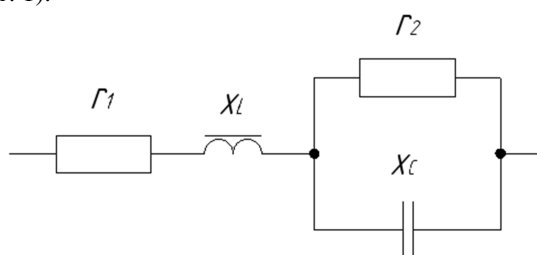


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения ХИТ для внутреннего сопротивления: r_1 – омическое сопротивление; L – индуктивность; C – емкость; r_2 – сопротивление поляризации

Полное внутреннее сопротивление ХИТ с учетом статических и динамических свойств источника питания примет следующий вид [3]:

$$Z(s) = r_1 + Ls + \frac{\frac{1}{Cs} r_2}{r_2 + \frac{1}{Cs}} = r_1 + Ls + \frac{r_2}{r_2 Cs + 1} \quad (1)$$

Величины напряжений на выходе АКБ примут следующий вид:

$$U = U_0 - \frac{1}{r_2 C} \int \left[(K_0 + K_A i)(q - q_0) + r_1 r_2 C \frac{di}{dt} - U_{RC} \right] dt - L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

при $q > q_n$.

$$U = U_0 - \frac{1}{r_2 C} \int \left[(K_0 + K_A i)(q - q_0) + r_1 r_2 C \frac{di}{dt} - U_{RC} \right] dt - L \frac{di}{dt} \quad (3)$$

при $q < q_n$.

Математическая модель обобщенной структурной схемы ХИТ, реализованная в среде MATLAB Simulink [4], приведена на рисунке 2.

Разрядные характеристики ХИТ, полученные на базе предложенной математической модели обобщенной структурной схемы ХИТ, реализованной в среде MATLAB Simulink, для различных значений тока приведены на рисунке 3.

Графики зависимостей полного внутреннего сопротивления ХИТ Z от частоты ω на базе предложенной математической модели обобщенной структурной схемы ХИТ, реализованной в среде MATLAB Simulink, для различных степеней разряженности приведены на рисунке 4.

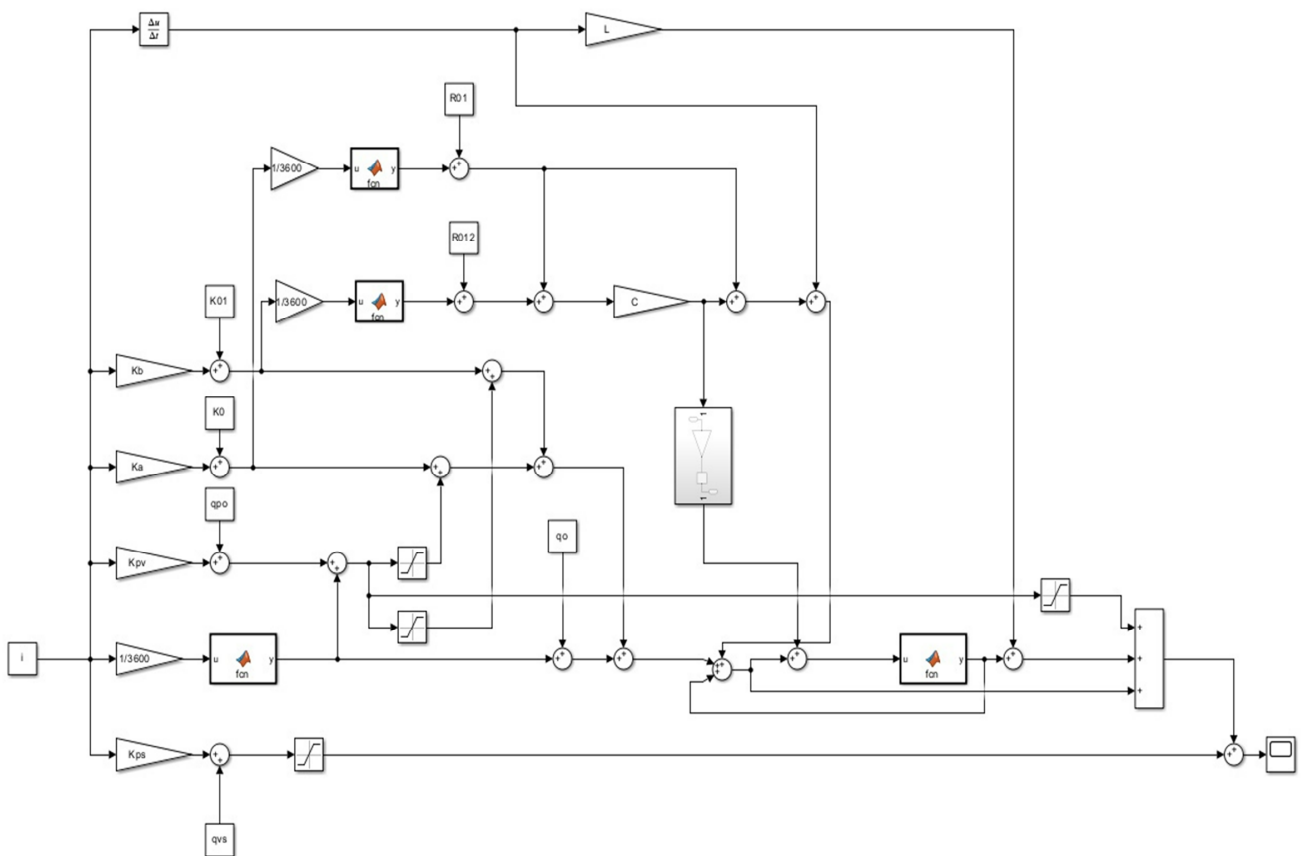


Рис. 2. Математическая модель обобщенной структурной схемы ХИТ, реализованная в среде MATLAB Simulink

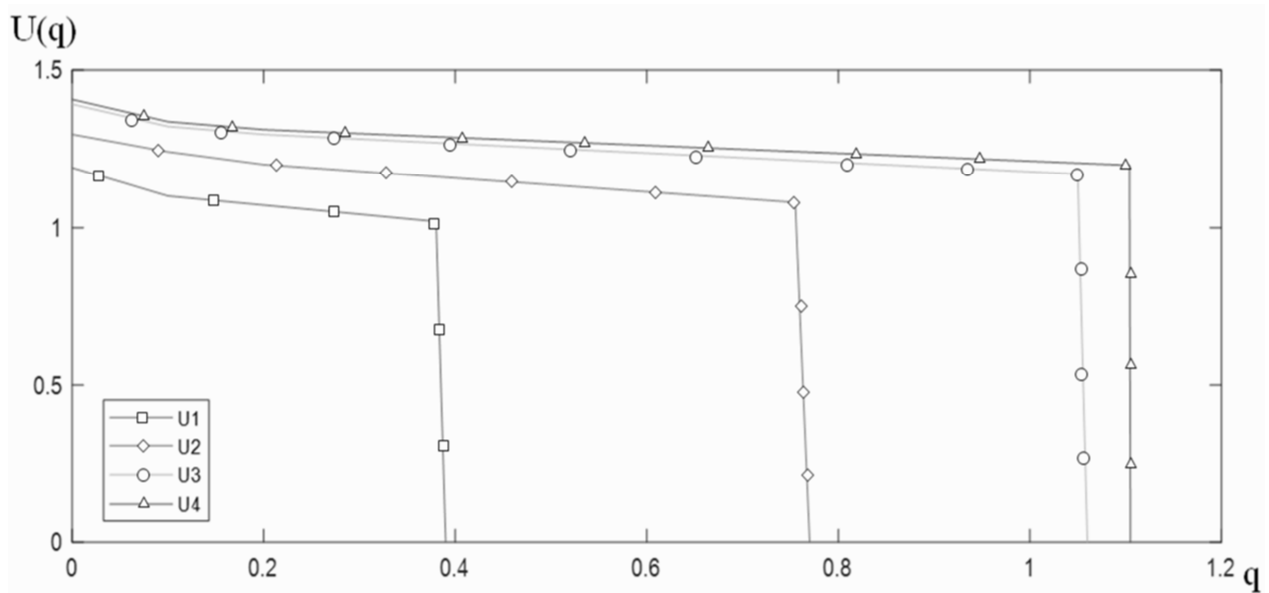


Рис. 3. Разрядные характеристики ХИТ

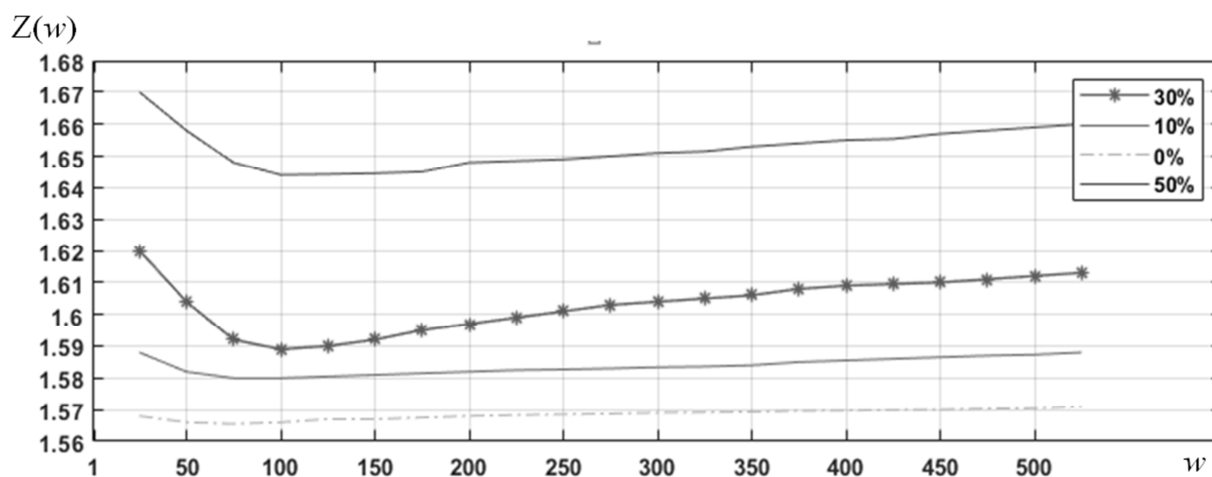


Рис. 4. Графики зависимостей полного внутреннего сопротивления ХИТ Z от частоты w

Представленные экспериментальные исследования верифицируют теоретические расчеты.

Исходя из анализа полученных графических зависимостей, можно сделать вывод, что величины резонансной частоты w и полного внутреннего сопротивления ХИТ Z увеличиваются с ростом степени разряженности АКБ.

Так как аккумуляторная батарея является базовым элементом системы электроснабжения автомобилей, то исследование динамической модели химических источников для тягового транспорта дает возможность для поиска и разработки усовершенствованных АКБ, что позволит снизить потери, связанные с процессами коммутации, а также потерями, вызванными нагрузкой и ее изменением.

Программная реализация, предложенная для решения задачи анализа динамической модели химических источников тока для тяговых электроприводов, позволяет определить энергоэффективность работы рассматриваемой системы. Это имеет большое значение для оптимизации и контроля процесса заряда и разряда АКБ, обеспечивая достижение требуемых результатов и эффективное использование ресурсов, что имеет значение для инженерной практики и научных исследований в данной области.

Отмечается, что для моделирования рассматриваемой системы возможно применение среды динамического и функционального моделирования технических систем SimInTech [5], выполненной российскими разработчиками.

Литература

1. Козадеров, О. А. Современные химические источники тока: учебное пособие / О. А. Козадеров, А. В. Введенский. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2017. – 132 с.
2. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник для бакалавров / Л.А. Бессонов. – Москва : Юрайт, 2015. – 701 с.
3. Жаворонков, М. А. Электротехника и электроника : учебное пособие / М. А. Жаворонков, А.В. Кузин. – Москва : ИЦ Академия, 2016. – 400 с.
4. Агравал, Г. П. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB : учебное пособие / Г. П. Агравал. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 208 с.
5. Хабаров, С. П. Основы моделирования технических систем. Среда Simintech / С. П. Хабаров, М. Л. Шилкина. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 120 с.

T.S. Larkina

*National Research University MPEI in Smolensk
Belarusian-Russian University*

ON ANALYSIS OF CHEMICAL CURRENT SOURCES DYNAMIC MODEL FOR TRACTION ELECTRIC DRIVES

The article describes a method for analyzing a dynamic model of chemical current sources for traction electric drives. The presented study provides an opportunity to develop combined power plants. The article presents a mathematical description and a generalized structural diagram of chemical current sources for traction electric drives. A package of applied programs for solving technical computing problems MATLAB Simulink was used for research. The possibility of using the environment for dynamic and functional modeling of technical systems SimInTech, made by Russian developers, is considered.

Chemical current sources, CCS, battery, battery, MATLAB, Matlab Simulink, Simintech, modeling.



А.А. Рахимов
*Политехнический институт Таджикского технического университета
 имени академика М.С. Осими*

КОМПЬЮТЕРНОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ ЯВЛЕНИЙ, ПРОЦЕССОВ, СИСТЕМ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ И ОБРАЗОВАНИЯ

В производственных и бытовых процессах часто возникают несчастные случаи пожара или выхода из строя промышленного оборудования в результате нагревания проводящих проводников или сильного нагрева частей приборов промышленного назначения, для чего в сетях применяются предохранители различного поперечного сечения. В представленной работе для предотвращения аварийных ситуаций в сети из медных проводников предлагается использовать плавкие предохранители из свинца. В зависимости от поперечного сечения проводящих проводников и разности температур рассчитано поперечное сечение плавкого свинцового предохранителя, для различной геометрии проводящих проводников, имеющее различные значения. Далее произведен расчет поперечного сечения плавкого предохранителя с использованием метода моделирования – получены идентичные результаты.

Компьютерное моделирование, математическое моделирование, образование, методика обучения, технические специальности, математика, физика, программа Maple 18.

В задачу моделирования входит расширение представлений о современных методах построения, реализации и исследования моделей объектов, процессов и систем различной природы; знакомство учащихся и студентов с методом моделирования как методом научного познания окружающего мира; овладение знаниями применения компьютера как средства познания в различных областях практической, научной деятельности человека.

Использование процесса моделирования для решения конкретных производственных задач расширяет и углубляет наши познания сути процессов и явлений. Его применение в профессиональной деятельности инженера, преподавателя, научного работника дает возможность грамотно организовать производственные процессы, занятия и научные эксперименты.

Моделирование как познавательный прием тесно связано с процессом развития науки и знания. Сама история науки и техники является историей развития моделирования явлений, процессов и объектов. Вначале модели носили материальный и наглядный характер, представляли собой рисунок, макет, схему, чертеж и т.д. Возможность представления знаний в виде моделей открыла широкий путь в понимании окружающей нас среды.

В настоящее время создание математических моделей в виде зависимости одной величины от другой стало общепринятым для раскрытия сущности явления технических и технологических процессов. В целом модели можно разделить на познавательные, проектные, оптимизационные, технологические, управленческие и т.д. Математическое моделирование в связи с использованием компьютерных технологий называют информационным моделированием. В боль-

шинстве случаев информационное моделирование рассматривается как формализованное описание информационных структур и операций, а также как параметрическое представление процесса циркуляции информации, подлежащей автоматизированной обработке в системе управления.

В процессе данного исследования были использованы следующие методы: анализ теоретических и практических источников по проблеме исследования, математическое моделирование физических процессов и его компьютерная реализация.

Вопросы математического и компьютерного моделирования рассмотрены в научных работах зарубежных и отечественных ученых: К.А. Федулова [1] исследует проблемы будущих педагогов профессионального обучения компьютерному моделированию в техническом вузе, В.И. Фомин [2] рассматривает вопросы развития содержания подготовки к информационно-аналитической деятельности на основе семиотического подхода студентов технических вузов, в работах Т.D. Anderson и Т.D. Garrison [3, с. 97–112] рассматриваются такие вопросы обучения компьютерному моделированию, как роль, место и возможности в образовании, в работе Л.А. Шкутина [4] рассмотрена профессиональная подготовка педагога на основе интеграции педагогических и информационных технологий. Вместе с тем, весьма актуальными являются вопросы применения компьютерного моделирования в процессе обучения математике, алгебре [5, с. 49–61] и использование компьютерного моделирования AutoCAD в образовательном процессе [6, с. 43–48]. Например, А.А. Умаров и А.А. Рахимов рассматривают вопросы методики моделирования процесса нахождения приближенных значений определенного интеграла

ла с помощью формулы прямоугольников с применением программы JavaScript [8, с. 155–161], повышение эффективности компьютерного моделирования в процессе обучения высшей математике в техническом вузе [7, с. 294–305], методику различных способов решения показательных уравнений с помощью компьютерной программы Maple [9, с. 194–200]. Б.Ф. Файзализода исследует современные педагогические технологии как основу формирования информационной компетенции студентов-медиков Таджикистана [10, с. 302–305], А.П. Назаров занимается проблемами методических основ программирования и проверки компетенций учащихся по математике и информатике в средних общеобразовательных школах [11].

Здесь мы рассматриваем задачи формализованного типа, подлежащие автоматизированной обработке в системе управления технологических и производственных процессов. Определение искомых параметров процесса позволяет предотвратить возникновение несчастных случаев в производстве.

Задача. Найти сечение свинцового предохранителя, который плавится при повышении температуры проводки на $\Delta t = 10^\circ\text{C}$, если известно, что проводка выполнена из медного провода сечением 5 мм^2 . Начальная температура 20°C . Потерю на теплоотдачу не учитывать.

Дано:

$$\begin{aligned}\Delta t &= 10^\circ\text{C} \\ S_2 &= 5\text{ мм}^2 = 5 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2 \\ t_1 &= 20^\circ\text{C} \\ t_{\text{пл}} &= 327^\circ\text{C} \\ \rho_1 &= 2,1 \cdot 10^{-7}\text{ Ом}\cdot\text{м} \\ D_1 &= 11,3 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \\ c_1 &= 0,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}} \\ L_1 &= 0,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \\ \rho_2 &= 1,7 \cdot 10^{-8}\text{ Ом}\cdot\text{м} \\ D_2 &= 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \\ c_2 &= 0,4 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}} \\ S_1 &=?\end{aligned}$$

Решение. Обратим внимание на то, что свинцовый и медный провода соединены последовательно и по этой причине по проводникам течет одинаковый ток. При течении тока по проводнику согласно закону Джоуля – Ленца выделяется количество теплоты

$$Q_2 = I^2 R_2 \tau, \quad (1)$$

где I – ток, проходящий через проводник, R_2 – сопротивление медного проводника, τ – время прохождения тока через медный проводник (отметим, что время прохождения тока через проводники одинаково). Выделенное количество теплоты расходуется для нагревания меди до некоторой температуры Δt .

$$Q_2 = c_2 m_2 \Delta t. \quad (2)$$

Учитывая равенство уравнений (1) и (2), получим:

$$c_2 m_2 \Delta t = I^2 R_2 \tau, \quad (3)$$

откуда найдем I^2 :

$$I^2 = \frac{c_2 m_2 \Delta t}{R_2 \tau}. \quad (4)$$

Как уже отмечали, свинцовый предохранитель и медный проводник соединены последовательно, через них проходит один и тот же ток. Выделяемое количество теплоты в свинцовом предохранителе определяется в соответствии с законом Джоуля – Ленца по формуле:

$$Q_1 = I^2 R_1 \tau. \quad (5)$$

В формуле (5) R_1 – сопротивление свинцового предохранителя. Учитывая, что ток, проходящий по последовательно соединенным проводникам согласно формуле (4), один и тот же, то формулу (4) можем написать в следующем виде:

$$Q_1 = \frac{c_2 m_2 \Delta t}{R_2 \tau} R_1 \tau = \frac{c_2 m_2 \Delta t}{R_2} R_1. \quad (6)$$

В согласии с формулой (6) это количество теплоты идет на нагревание предохранителя от температуры t_1 до температуры $t_{\text{пл}}$ и на его плавление.

$$Q_1 = c_1 m_1 (t_{\text{пл}} - t_1) + L_1 m_1 = m_1 [c_1 (t_{\text{пл}} - t_1) + L_1]. \quad (7)$$

Выделяемое количество теплоты, согласно формулам (6) и (7), одно и то же, поэтому можем написать следующее равенство:

$$m_1 [c_1 (t_{\text{пл}} - t_1) + L_1] = \frac{c_2 m_2 \Delta t}{R_2} R_1, \quad (8)$$

отсюда

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{c_2 m_2 \Delta t}{m_1 [c_1 (t_{\text{пл}} - t_1) + L_1]}. \quad (9)$$

Учитывая, что $R = \rho \frac{\ell}{S}$ и $m = DV = DS\ell$, соответственно получим для свинцовых и медных проводников следующие уравнения:

$$R_1 = \rho_1 \frac{\ell_1}{S_1}, \quad m_1 = D_1 S_1 \ell_1;$$

$$R_2 = \rho_2 \frac{\ell_2}{S_2}, \quad m_2 = D_2 S_2 \ell_2.$$

Подставляя полученные выражения R_1 , R_2 и m_1 , m_2 в формулу (9), получим:

$$\frac{\rho_2^2 \frac{\ell_2}{S_2}}{\rho_1^2 \frac{\ell_1}{S_1}} = \frac{c_2 D_2 S_2 \ell_2 \Delta t}{D_1 S_1 \ell_1 [c_1 (t_{\text{пл}} - t_1) + L_1]}, \quad (10)$$

или

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{c_2 D_2 \rho_1 \Delta t}{D_1 \rho_2 [c_1 (t_{\text{пл}} - t_1) + L_1]}, \quad (11)$$

отсюда

$$S_1 = S_2 \sqrt{\frac{c_2 D_2 \rho_1 \Delta t}{D_1 \rho_2 [c_1 (t_{\text{пл}} - t_1) + L_1]}}. \quad (12)$$

Формула (12) является расчетной формулой, потому что все физические величины даны. Под корнем, кроме Δt , другие величины постоянны, и можно произвести вычисления и выразить эту величину буквой A .

Проверим правильность формулы и единицу измерения искомой величины. Для осуществления этой операции в расчетную формулу (12) вместо физических величин поставим единицу измерения величин:

$$S_1 = S_2 \sqrt{\frac{c_2 D_2 \rho_1 \Delta t}{D_1 \rho_2 [c_1 (t_{пл} - t_1) + L_1]}} = M^2 \sqrt{\frac{\frac{Дж}{кг \cdot K} \frac{кг}{м^3} \frac{Ом \cdot м \cdot К}{м^3}}{\frac{кг}{м^3} \frac{Ом \cdot м}{м^3} \left[\frac{Дж}{кг \cdot K} K + \frac{Дж}{кг} \right]}} =$$

$$= M^2 \sqrt{\frac{\frac{Дж}{кг \cdot K} \frac{кг}{м^3} \frac{Ом \cdot м \cdot К}{м^3}}{\frac{кг}{м^3} \cdot Ом \cdot м \cdot \frac{Дж}{кг}}} = M^2 = L^2.$$

Полученная формула оказалась верной, потому что в итоге получили размерность площади.

Подставляя числовые данные в формулу (12) получим:

$$S_1 = S_2 \sqrt{\frac{c_2 D_2 \rho_1 \Delta t}{D_1 \rho_2 [c_1 (t_{пл} - t_1) + L_1]}} =$$

$$= 5 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 8,9 \cdot 10^3 \cdot 2,1 \cdot 10^{-7} \cdot 10}{11,3 \cdot 10^3 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} [0,1 \cdot 10^3 \cdot (327 - 20) + 0,3 \cdot 10^5]}} =$$

$$= 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Таким образом, в результате вычисления получили значения $4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ или 4 мм^2 . Результат показывает, что при поперечном сечении свинцового предохранителя 4 мм^2 он расплавляется, система освещения или обеспечения приборов производственного назначения током обесточивается и не происходят несчастные случаи.

Для проверки полученных ответов можно использовать компьютерное моделирование, в нашем случае будем использовать программу компьютерного моделирования Maple 18.

Вводим необходимые числовые данные задачи (рис. 1).

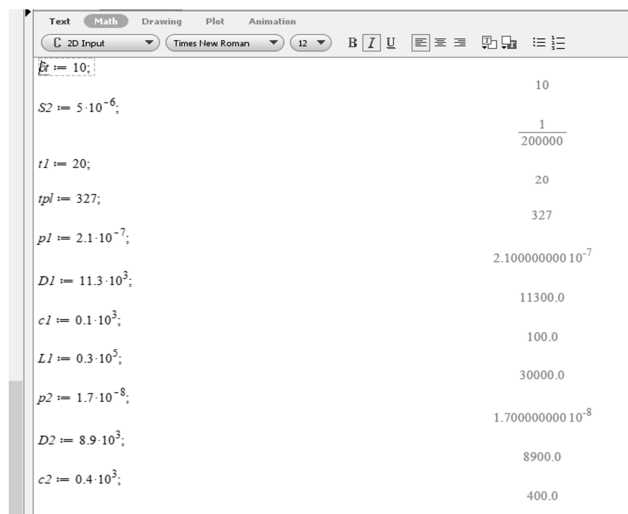


Рис. 1. Ввод числовых данных в среде программы Maple 18

Далее введем необходимые формулы для вычисления требуемого значения, воспользовавшись операторами программы (рис. 2).

На рисунке 2 видно, что полученные ответы верны с аналитическим способом решения.

Ценность решения этой задачи в предотвращении аварий в бытовых и производственных процессах. Расчеты, которые производились выше, можно произвести с использованием метода математического моделирования.

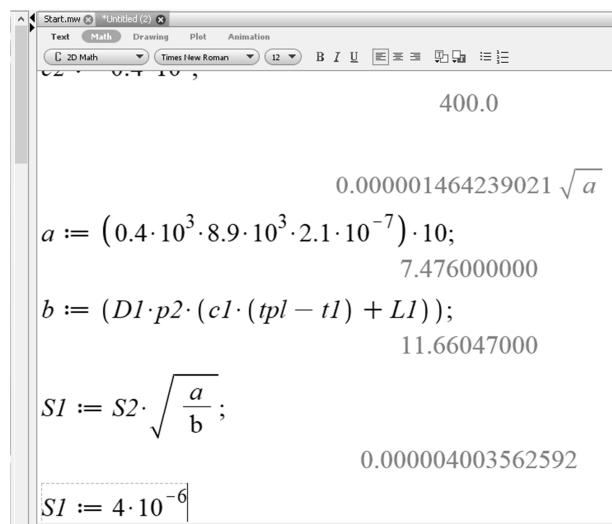


Рис. 2. Расчет числовых данных в среде программы Maple 18

Если разность температур проводников в предохранителе $\Delta t = 10^\circ \text{C}$, то в свинцовом предохранителе выделяется количество тепла, равное сумме количества теплоты, выделяемой предохранителем с 20°C до температуры плавления, и количества теплоты необходимой для плавления свинца. В этом случае происходит отключения сети, предохранитель плавится, не пропускает ток. Таким образом, можем быть предотвращено возникновение несчастных случаев, аварии в бытовых и производственных сетях.

Заключение

1. Для предотвращения аварийных ситуаций в электропроводах бытовых и производственных сетей в основном используются предохранители.

2. Всегда температура плавления предохранителя должна быть меньше, чем температуры проводящих проводников сети.

3. Выбор предохранителей осуществляется по величине проходящего тока или по разности температур Δt .

4. Температура возникновения пожара в электрических сетях различной проводимости или удельное сопротивление изоляции определяется экспериментально.

5. По разности температур проводника потребителя выбирается сечение предохранителя.

6. Результат вычисления легко проверить, используя компьютерные программы.

Литература

1. Федулова, К. А. Подготовка будущих педагогов профессионального обучения к компьютерному моделированию : специальность 13.00.08 : диссертация на соискание ученой степени кандидата педагогических наук / Ксения Анатольевна Федулова. – Екатеринбург, 2014. – 210 с.

2. Фомин, В. И. Развитие содержания подготовки к информационно-аналитической деятельности на основе семиотического подхода : специальность 13.00.02 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата педагогических наук / Фомин Владимир Ильич. – Самара, 2009. – 27 с.

3. Anderson, T. D. Learning in a networked world: new roles and responsibilities / Anderson, T. D., Garrison, D. R. ; C.C. Gibson (ed.) // Distance learners in higher education: institutional responses for quality outcomes. Atwood Publishing, United States. – 1998. – P. 97–112.

4. Шкутина, Л. А. Подготовке педагога профессионального обучения на основе интеграции педагогических и информационных технологий : специальность 13.00.08 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора педагогических наук / Шкутина Лариса Арнольдовна. – Караганда, 2002. – 27 с.

5. Рахимов, А. А. Использование компьютерного моделирования в процессе обучения алгебре студентов технических направлений / А. А. Рахимов // Вестник Сургутского государственного педагогического университета. – 2024. – № 1 (88). – С. 49–61. – DOI 10.69571/SSPU.2024.88.1.023. – EDN QYDWEK.

6. Рахимов, А. А. Использование компьютерного моделирования AUTOCAD в образовательном процессе для студентов технических направлений вуза / А. А. Рахимов // Наука и практика в образовании: электронный научный журнал. – 2024. – Т. 5, № 2. – С. 43–48. – DOI 10.54158/27132838_2024_5_2_43. – EDN CMTUEX.

7. Раҳимов, А. А. Такмили самаранокии таълими математикаи олии дар донишгоҳҳои олии таъликии боҷалби амсиласозии компютерӣ / А. А. Раҳимов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2024. – № 1. – С. 294–305. – EDN PCOWPK.

8. Рахимов, А. А. Методика моделирования процесса нахождения приближенных значений опреде-

лённого интеграла с помощью формулы прямоугольников с применением программы Javascript / А. А. Рахимов, А. А. Умаров, Х. К. Мухаббатов // Вестник Педагогического университета. Серия 2: Педагогика и психологии, методики преподавания гуманитарных и естественных дисциплин. – 2023. – № 3(17). – С. 155–161. – EDN EPHUMZ.

9. Рахимов, А. А. Методика различных способов решения показательных уравнений с помощью компьютерной программы Maple / А. А. Рахимов, М. Рахматова // Вестник Института развития образования. – 2022. – № 2(38). – С. 194–200. – EDN FNPOPD.

10. Файзализода, Б. Ф. Современные педагогические технологии – основа формирования информационной компетенции студентов-медиков Таджикистана [Текст] / Б. Ф. Файзализода, М. А. Абдулхаков, Р. К. Файзиев // V Международная научно-практическая конференция «Современные Web-технологии в цифровом образовании: значение, возможности, реализация» (Арзамас: 17–18 мая 2019 г.). – Арзамас, 2019. – С. 302–305.

Назаров, А. П. Методические основы программирования и проверка компетенций учащихся по математике и информатике в средних общеобразовательных школах : специальность 13.00.02 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора педагогических наук / А. П. Назаров. – Душанбе, 2002. – 27 с.

A.A. Rakhimov

Polytechnic Institute of Tajik Technical University named after M.S. Osimi

COMPUTER AND MATHEMATICAL MODELING AS METHOD OF SCIENTIFIC COGNITION OF PHENOMENA, PROCESSES, SYSTEMS OF VARIOUS NATURE AND EDUCATION

In industrial and household processes accidents often occur in case of fire or failure of industrial equipment as a result of heating of conductive conductors or strong heating of parts of industrial devices. To prevent such cases, fuses of various cross-sections are used in networks.

In the presented work, in order to prevent accidents in a network of copper conductors. Depending on the cross-section of the conductive conductors and the temperature difference, we calculated the cross-section of a fusible lead fuse. It has different values for different geometries of conductive conductors. Then the cross section of a fuse was calculated with the use of a modeling method. The identical results were obtained.

Computer modeling, mathematical modeling, education teaching methods, technical specialties, mathematics, physics, Maple 18 program.

УДК 629.12.03



А. С. Байёв

Российская Академия Естествознания

СБАЛАНСИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ КАК СПОСОБ ДОСТИЖЕНИЯ ИМПОРТОНЕЗАВИСИМОСТИ СТРАНЫ

Отмечено, что сбалансированность сложной техники в машиностроении – важное реально существующее их свойство, которое все больше выдвигается на первый план при решении задач по обеспечению технологического суверенитета и безопасности страны. Рассмотрены методология оценки согласованности и сбалансированности комплексов различного уровня, фрагменты компьютерной программы и способ достижения импортонезависимости страны.

Машиностроение, универсальная методика, сбалансированность комплексов, цифровая технология, импортонезависимость.

В соответствии с государственными стандартами [1] сложная техника машиностроения (суда, корабли, автомобили, самолеты, локомотивы и т.п. (далее – техника или изделия)), а также и их функционально значимые составные части, в частности энергетические установки, представляют собой определенные комплексы соответствующей сложности и структуры.

Основополагающим принципом проектирования комплексов является комплектование их состава из стандартного унифицированного оборудования.

В составе комплексов комплектующее оборудование приобретает новое дополнительное свойство согласованности – соответствие оборудования друг другу по тому или иному свойству, а комплексы – свойство сбалансированности. Сбалансированность – это сочетание свойств комплексов, состав которых определяется их назначением и решаемыми задачами [2].

В современных условиях соответствующими Постановлениями Минпромторга предусмотрено поэтапное расширение производства отечественного комплектующего оборудования [3–5]. Однако замена импортного оборудования на отечественные аналоги пока не всегда адекватна, что негативно сказывается и на сбалансированности комплексов.

В том числе и в связи с этим обеспечение необходимой сбалансированности сложной техники все больше выдвигается на первый план при решении важной государственной задачи – обеспечения технологического суверенитета и безопасности страны [6–8].

Между тем до настоящего времени сбалансированность техники не оценивается и не контролируется, а в основном декларируется вербально. И это при том, что по определению сбалансированность имеет

количественную оценку (измерение) и конкретна, то есть оценивается по определенным свойствам техники (далее – признакам сбалансированности).

Положенная в основу программы проектирования комплексов с оценкой их сбалансированности (сбалансированного проектирования) методика позволяет выполнять ее количественную оценку (рассчитывать индекс сбалансированности) в общем случае по семи директивным и функциональным признакам сбалансированности, состав которых варьируется автоматически в зависимости от типа судовых комплексов и наличия необходимых данных по комплектующему оборудованию [2].

В программе:

- в качестве директивного признака сбалансированности используется импортозамещение, оцениваемое долей отечественного оборудования в составе комплексов, а функциональных – свойства комплексов (назначение, безопасность (в том числе экологическая), надежность, эффективность и компактность), которые определяют эффективность их технической эксплуатации (технического использования, технического обслуживания и ремонта), и уровень которых (свойств) зависит, в том числе, и от результатов импортозамещения и импортонезависимости;

- для соответствия оборудования и комплексов (далее – объектов) по тому или иному признаку сбалансированности используется термин согласованность, а под сбалансированностью комплексов понимается сочетание согласованностей по признакам сбалансированности (по сути, по перечисленным выше свойствам комплексов);

- количественная оценка (расчет индексов) как согласованности, так и сбалансированности комплек-

сов выполняется с помощью аддитивной функции «полином» с той лишь разницей, что расчет индексов согласованности осуществляется в виде коэффициентов, а индексов сбалансированности – в виде процентов;

– индекс согласованности – это коэффициент (относительный показатель), который характеризует степень приближения проектного (реального) значения параметра, характеризующего то или иное свойство изделий, к базовому (требуемому) значению, а индекс сбалансированности – относительный показатель в виде процента, который характеризует степень приближения проектного (реального) уровня сбалансированности комплексов к потенциальному стопроцентному;

– для большей универсальности разработанных методик производится иерархическое структурирование насыщения изделий на:

- псевдоконкомплексы (комплексы нулевого уровня) – это взаимно обусловленное оборудование (табл. 1);
- комплексы первого уровня, включающие комплексы нулевого уровня, – это, например, *главный энергетический комплекс (ГЭК), вспомогательный энергетический комплекс (ВЭК)* (табл. 1);
- комплексы второго уровня, включающие комплексы первого уровня, – это *энергетическая установка (ЭУ) в целом, системы и устройства изделия (СУ) и управление изделием (УИ)* (табл. 2);
- комплекс третьего уровня, включающий комплексы второго уровня, – это изделие в целом.

В таблице 1 и 2 представлены фрагменты упомянутой программы на примере сухогрузного судна смешанного плавания.

Таблица 1

Матрица оценки согласованности комплексов первого уровня по назначению

№ п/п	Наименование	Согласованность
Главный энергетический комплекс (ГЭК)		
1	Главные двигатели	0,95
2	Главные передачи	0,71
3	Движители	0,99
4	ГЭК	0,88
Вспомогательный энергетический комплекс (ВЭК)		
5	Автономный котел	0,85
6	Утилизационные котлы	0,98
7	Дизель-генераторы	0,83
8	Валогенераторы	0,99
9	Водоопреснители	0,80
10	ВЭК	0,89

В разработанной методике расчет индексов согласованностей (далее – для упрощения согласованностей) объектов выполняется при одинаковой их значимости, исходя из того, что сумма значений коэффициентов значимости, учитываемых при расчете, равна единице. При этом согласно иерархии комплексов расчет согласованностей производится последовательно, начиная с оборудования (комплексов нулевого уровня). Получаемые при этом согласованности являются исходными при расчете согласованности комплексов первого уровня, результаты которого в свою очередь исходные для расчета согласованности комплексов второго уровня, и так далее.

Таблица 2

Матрица оценки сбалансированности комплексов второго и третьего уровня

Наименование индекса		Признаки сбалансированности					
		импортозамещение	назначение	безопасность	надежность	эффективность	компактность
Энергетическая установка (комплекс второго уровня)							
1	Согласованность ГЭК	0,67	0,88	0,97	0,84	0,65	0,67
2	Согласованность ВЭК	1,00	0,89	0,94	0,83	0,62	0,68
3	Согласованность систем ЭУ	0,73	0,83	1,00	0,84	0,60	0,35
4	Согласованность ЭУ	0,80	0,87	0,97	0,84	0,62	0,57
5	Сбалансированность ЭУ, %	80	83	88	87	82	78
6	Сбалансированность ЭУ без импортозамещения, %		87	92	89	82	77
Системы и устройства (комплекс второго уровня)							
7	Согласованность СУ	0,74	0,75	0,97	0,73	0,72	0,83
8	Сбалансированность СУ, %	74	75	82	80	78	79
9	Сбалансированность СУ без импортозамещения, %		75	86	82	79	80
Управление изделием (комплекс второго уровня)							
10	Согласованность УИ	0,72	0,79	0,98	0,72	0,83	0,87
11	Сбалансированность УИ, %	72	76	88	80	81	82
12	Сбалансированность УИ без импортозамещения, %		79	89	83	83	84
Изделие (комплекс третьего уровня)							
13	Согласованность изделия	0,75	0,80	0,97	0,76	0,72	0,76
14	Сбалансированность изделия, %	75	78	84	82	80	80
15	Сбалансированность изделия без импортозамещения, %		80	89	85	82	80

Так, например, согласованность комплексов первого уровня по назначению (табл. 1):

– ГЭК 0,88 (позиция 4) складывается из 3 составляющих 0,95(1/3), 0,71(1/3) и 0,99(1/3), где 0,95, 0,71 и 0,99 – это соответственно согласованности комплексов нулевого уровня (главных двигателей, главных передач и движителей в данном случае по мощности, крутящему моменту и частоте вращения соответственно), а 1/3 – это коэффициенты значимости главных двигателей, главных передач и движителей;

– ВЭК 0,89 (позиция 10 табл. 1) складывается из 5 составляющих 0,85(1/5), 0,98(1/5), 0,83(1/5), 0,99(1/5) и 0,80(1/5), где 0,85, 0,98, 0,83, 0,99 и 0,80 – это соответственно согласованности комплексов нулевого уровня (автономного котла, утилизационных котлов, дизель-генераторов, валогенераторов и водоопреснителей в данном случае по теплопроизводительности котлов, мощности дизель-генераторов и валогенераторов и производительности водоопреснителей), а 1/5 – это коэффициенты значимости автономного котла, утилизационных котлов, дизель-генераторов, валогенераторов и водоопреснителей.

Далее на основе этих согласованностей последовательно выполняется расчет согласованностей комплексов второго и третьего уровня (табл. 2).

То есть, например, согласованность ЭУ (комплекса второго уровня) по назначению 0,87 (позиция 4) складывается из 3 составляющих 0,88(1/3), 0,89(1/3) и 0,83(1/3), где 0,88, 0,89 и 0,83 – это соответственно согласованности ГЭК, ВЭК и систем ЭУ по назначению, а 1/3 – это коэффициенты значимости ГЭК, ВЭК и систем ЭУ, а изделия (комплекса третьего уровня) 0,80 (позиция 13) складываются также из 3 составляющих 0,87(1/3), 0,75(1/3) и 0,79(1/3), где 0,87, 0,75 и 0,79 – это соответственно согласованности ЭУ, СУ и УИ по назначению, а 1/3 – это коэффициенты значимости ЭУ, СУ и УИ.

Что касается расчета индексов сбалансированности (далее – сбалансированности) комплексов, то он (расчет) выполняется по признакам сбалансированности с использованием аналогичной методики и рассчитанных согласованностей комплексов.

Так, сбалансированность ЭУ (табл. 2 позиция 5):

– по импортозамещению 80 % складывается из 1 составляющего 100(1/1)0,80, где 100 – коэффициент перевода в проценты, 1/1 – коэффициент значимости импортозамещения в данном случае, а 0,80 – согласованность ЭУ по импортозамещению;

– по импортозамещению и назначению 83 % складывается из 2 составляющих 100(1/2)0,80 и 100(1/2)0,87, где 100 – коэффициент перевода в проценты, 1/2 – коэффициенты значимости импортозамещения и назначения, а 0,80 и 0,87 – согласованности ЭУ по импортозамещению и назначению соответственно;

– по импортозамещению, назначению и безопасности 88 % складывается из 3 составляющих 100(1/3)0,80, 100(1/3)0,87 и 100(1/3)0,97, где 100 – коэффициент перевода в проценты, 1/3 – коэффициенты значимости импортозамещения, назначения и без-

опасности, а 0,80, 0,87 и 0,97 – согласованность ЭУ по импортозамещению, назначению и безопасности соответственно.

Далее аналогично, то есть, например, сбалансированность ЭУ:

– по всем 6 признакам сбалансированности 78 % (позиция 5 табл. 2) складывается из 6 составляющих 100(1/6)0,80, 100(1/6)0,87, 100(1/6)0,97, 100(1/6)0,84, 100(1/6)0,62 и 100(1/6)0,57, где 100 – коэффициент перевода в проценты, 1/6 – коэффициенты значимости импортозамещения, назначения, безопасности, надежности, эффективности и компактности, а 0,80, 0,87, 0,97, 0,84, 0,62 и 0,57 – согласованность ЭУ по импортозамещению, назначению, безопасности, надежности, эффективности и компактности соответственно;

– без учета импортозамещения (по 5 признакам сбалансированности – назначению, безопасности, надежности, эффективности и компактности) 77 % (позиция 6 табл. 1) складывается из 5 составляющих 100(1/5)0,87, 100(1/5)0,97, 100(1/5)0,84, 100(1/5)0,62 и 100(1/5)0,57, где 100 – коэффициент перевода в проценты, 1/5 – коэффициенты значимости назначения, безопасности, надежности, эффективности и компактности, а 0,87, 0,97, 0,84, 0,62 и 0,57 – согласованность ЭУ по назначению, безопасности, надежности, эффективности и компактности соответственно;

– сбалансированность изделия (комплекса третьего уровня) по всем 6 признакам сбалансированности 80 % (позиция 14 табл. 2) складывается из 6 составляющих 100(1/6)0,75, 100(1/6)0,80, 100(1/6)0,97, 100(1/6)0,76, 100(1/6)0,72 и 100(1/6)0,76, где 100 – коэффициент перевода в проценты, 1/6 – коэффициенты значимости импортозамещения, назначения, безопасности, надежности, эффективности и компактности, а 0,75, 0,80, 0,97, 0,76, 0,72 и 0,76 – согласованность изделия в целом по импортозамещению, назначению, безопасности, надежности, эффективности и компактности соответственно.

Если кратко, то расчет согласованностей комплексов производится по вертикали (с использованием вертикальных данных таблиц), а сбалансированности – по горизонтали (с использованием горизонтальных данных таблиц) с адаптивной корректировкой коэффициентов значимости объектов. Реализация этого алгоритма в программе выполняется автоматически с помощью технологии интеллектуальной поддержки принятия решений – одного из видов технологий искусственного интеллекта [9] (далее – цифровая технология).

Дополнение существующих систем автоматизированного проектирования комплексов этой цифровой технологией позволяет не только оценивать их сбалансированность, но и, что важно, осуществлять целенаправленное ее формирование до заданного (далее – также нормативного или повышенного) уровня. В связи с этим появляется необходимость нормирования сбалансированности комплексов, что является предметом отдельного исследования.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что сбалансированность комплексов зависит не только от согласованности их по свойствам, но и от типа комплексов и от состава признаков сбалансированности. В этом плане рационально нормирование сбалансированности начинать с комплексов второго уровня, что в общем случае можно делать как с учетом, так и без учета доли отечественного оборудования в составе комплексов.

По определению индекс сбалансированности комплексов без учета импортозамещения – это относительный уровень эффективности их технической эксплуатации, а с учетом доли отечественного оборудования – количественная оценка уровня импортозамещения и импортонезависимости, что исключительно важно, когда при строительстве техники на отечественных предприятиях используется преимущественно импортное оборудование, а изготовленное отечественное оборудование при этом не пользуется спросом.

Индекс же сбалансированности комплексов с учетом доли отечественного оборудования характеризует, сколько отечественного оборудования используется в составе комплексов и какого оно качества, которое зависит, в том числе, и от технологий, применяемых при изготовлении оборудования.

Таким образом, проектирование комплексов с оценкой их сбалансированности – это, во-первых, количественная оценка уровня импортозамещения и импортонезависимости изделий, а во-вторых, при проектировании сбалансированной техники, когда он (уровень импортозамещения и импортонезависимости) выступает как целевой показатель – это способ (способ – это система действий для достижения цели) достижения технологической независимости страны, для реализации которого необходимо:

- при проектировании сложной техники производить оценку сбалансированности ее комплексов с выявлением критической номенклатуры комплектующего оборудования (КО) и его необходимых показателей;

- обеспечивать производство отечественного КО требуемой номенклатуры и параметров;

- по мере развития импортозамещения поэтапно нормировать сбалансированность комплексов (по сути, уровень их импортозамещения и импортонезависимости как целевого показателя);

- целенаправленно формировать при проектировании сложной техники сбалансированность их комплексов, обеспечивая ее не ниже заданной;

- контролировать сбалансированность (по сути, уровень импортозамещения и импортонезависимости) как проектов, так и строящейся и модернизируемой техники;

- стимулировать проектировщиков и строителей техники, а также производителей комплектующего оборудования, обеспечивающих уровень импортозамещения и импортонезависимости комплексов не ниже заданного;

- опережающе готовить необходимых специалистов.

Полноформатная реализация этих действий – достаточно объемная задача, которую рационально решать параллельно при координации (регулировании) Минпромторга путем нормирования по сути одного числа – уровня импортозамещения и импортонезависимости сложной техники. О том, что такое возможно, говорил еще Пифагор: «Число правит миром!». Тем более что подобный опыт у Минпромторга уже имеется при проведении мероприятий по импортозамещению [3–5] и уже осуществляется подготовка профильных специалистов.

В конечном итоге это позволит:

- повысить эффективность технической эксплуатации сложной техники и, как следствие, ее конкурентоспособность;

- выявлять критическую номенклатуру комплектующего оборудования и его показатели, обеспечивающие уровень импортонезависимости сложной техники не ниже заданного;

- стимулировать и более обоснованно проводить мероприятия по импортозамещению и импортонезависимости, обеспечивая технологический суверенитет и безопасность страны.

Заключение

1. Сбалансированность сложной техники в машиностроении – ее важное комплексное свойство, обеспечение необходимого уровня которого все больше выдвигается на первый план при решении задач по импортонезависимости и безопасности страны.

2. Оработана универсальная методика количественной оценки и формирования повышенной сбалансированности сложной техники.

3. Разработанная цифровая технология позволяет уже на стадии проектирования сложной техники прогнозировать эффективность ее технической эксплуатации и оценивать уровень импортозамещения и импортонезависимости изделий.

4. Предложен способ достижения импортонезависимости страны на основе формирования уровня импортозамещения и импортонезависимости техники не ниже заданного.

Литература

1. ГОСТ Р 2.101 – 2023. Виды изделий : издание официальное : введен 2024-03-01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2023.

2. Баёв, А. С. Сбалансированное проектирование судовых комплексов / А. С. Баёв // Судостроение. – 2024. – № 3 (874). – С. 24–28.

3. План мероприятий по импортозамещению в автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2024 года : Приказ Минпромторга России от 06 июля 2021 г. № 2468. – URL: <https://bod.frprf.ru/public/documents/plan-importozameshheniya-v-avtomobilnoj-promyshlennosti> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

4. План мероприятий по импортозамещению в судостроительной отрасли Российской Федерации на

период до 2024 года : Приказ Минпромторга России от 02 августа 2021 г. № 2916. – URL: <https://frprf.ru/download/plan-po-importozameshcheniyu-v-sudostroitelnoy-promyshlennosti.pdf> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

5. План мероприятий по импортозамещению в отрасли железнодорожного машиностроения Российской Федерации на период до 2024 года : Приказ Минпромторга России от 06 июля 2021 г. № 2469. – URL: <https://frprf.ru/download/plan-po-importozameshcheniyu-v-transportnom-mashinostroyenii.pdf> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

6. Чирков, В. В. Сбалансированный флот адмирала Кузнецова / В. В. Чирков. – URL: [https://www.admiralchirkov.ru/sbalansirovannyj-flot-admirala-](https://www.admiralchirkov.ru/sbalansirovannyj-flot-admirala-kuzneczova/)

[kuzneczova/](https://www.admiralchirkov.ru/sbalansirovannyj-flot-admirala-kuzneczova/) (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

7. Путин дал поручение по развитию кораблестроения для сбалансированного развития ВМФ. – URL: <https://morvesti.ru/news/1679/110497/> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

8. Патрушев, Н. П. Модернизация российского флота идет недопустимо низкими темпами / Н. П. Патрушев. – URL: <https://t.me/morvestirussia/2335> (дата обращения: 09.12.2024). – Текст : электронный.

9. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года / Указ Президента Российской Федерации от 10.10. 2019 года № 490. – 23 с.

A.S. Bayov

Russian Academy of Sciences

BALANCED DESIGN OF COMPLEX EQUIPMENT IN MECHANICAL ENGINEERING AS A WAY TO ACHIEVE IMPORT INDEPENDENCE OF THE COUNTRY

It was noted that the balance of complex equipment of mechanical engineering is an important real property of it and it is increasingly highlighted when solving problems of ensuring the technological sovereignty and security of the country. The methodology of assessing the consistency and balance of complexes of various levels as well as the fragments of the computer program and the way to achieve country's import independence were considered.

Mechanical engineering, universal technique, balance of complexes, digital technology, import independence.

И.П. Попов¹, В.А. Раков²¹Курганский государственный университет,²Вологодский государственный университет

ОПТИМИЗАЦИЯ ФАЗ КОЛЕБАНИЙ РЕШЕТНЫХ СТАНОВ

В статье рассматривается вопрос снижения энергопотребления решетных станов за счет оптимизации фаз колебания отдельных решеток. Показано, что задача параметрической оптимизации заключается в отыскании (путем сравнения дискретных значений) среди элементов допустимого множества Z (сдвигов фаз колебаний решетных станов) такого элемента, который доставляет минимальное значение целевой функции, под которой понимается энергия, потребляемая из сети. Критерием поиска является «min». Оптимальный сдвиг фаз колебаний решетных станов равен $\pi/2$, что совпадает с результатом решения аналитической оптимизационной задачи. При этом целевая функция принимает минимальное значение.

Параметрическая оптимизация, фазы колебаний, целевая функция, критерий поиска.

Просеивание и сортировка по фракциям сыпучих строительных материалов и зерна в сельском хозяйстве осуществляется на специальных механизированных ситах – решетных станах. Как правило, в таких станах решетки располагаются в несколько рядов с увеличением размеров ячеек сверху вниз. В процессе работы решетки перемещаются в поперечном направлении, улучшая подвижность просеиваемых материалов (рис. 1). Амплитуда и частота колебаний решеток подбирается экспериментальным путем и зависит от свойств просеиваемых материалов. В условиях высокой производительности через решетки станом просеиваются сотни кубометров зерна или сыпучих материалов в сутки. В таких масштабах расходы энергии для привода станом будут значительны. Это приводит к необходимости оптимизации параметров их работы. Для этих целей производится подбор амплитуды и частоты колебания [1, 2], а также создание кинематически уравновешенных схем привода решет [3–6]. Существующие исследования направлены на обеспечение оптимальных конструктивных характеристик решетных станом, а также на снижение их энергопотребления. Ряд исследований направлен на оптимизацию конструкции машин за счет улучшения энергетических характеристик [7–9].



Рис. 1. Решетный стан комбайна «Нива»

Известно, что часть энергии привода станом расходуется на преодоление собственных сил инерции, вызванных движением массивных решет. Уравновешивание этих сил осуществляется грузами, противовесами, как показано в статье авторов Сычуговых [6]. Ранее также проводились исследования по динамическому уравновешиванию кинематических систем с двумя вращающимися грузами [10–13].

Для решения задачи уравновешивания решет предлагается обеспечивать оптимальное положение фазы колебаний за счет системного подхода, в котором схема колебаний решетных станом рассматривается как кинематическая система с дискретной обратной связью. В качестве целевой функции принята мощность привода станом.

Решение задачи представлено на примере зерноочистительной машины ОЗС-50, кинематическая схема которой (рис. 2) позволяет, не изменяя конструкцию эксцентриковых валов 3, обеспечить смещение фазы колебаний любой пары решетных станом 1 на некоторый угол ζ за счет относительного разворота эксцентриковых валов 3 [14–16]. Это выполняется при размыкании цепной передачи 4. При этом оба решетных стана верхней пары и оба решетных стана нижней пары продолжают работать в противофазе, что обеспечивает динамическую уравновешенность машины. Комплект измерительный К505 подключается к цепи питания электродвигателя 6.

Звездочки цепной передачи 4 имеют по 20 зубьев. Следовательно, поворот любой из них на один зуб поворачивает соответствующий эксцентриковый вал на 18 градусов ($\zeta = 2\pi/20$). Таким образом, измерения могут проводиться лишь для дискретных значений ζ с шагом дискретности 18 град. симметрично относительно значения $\zeta = \pi/2$.

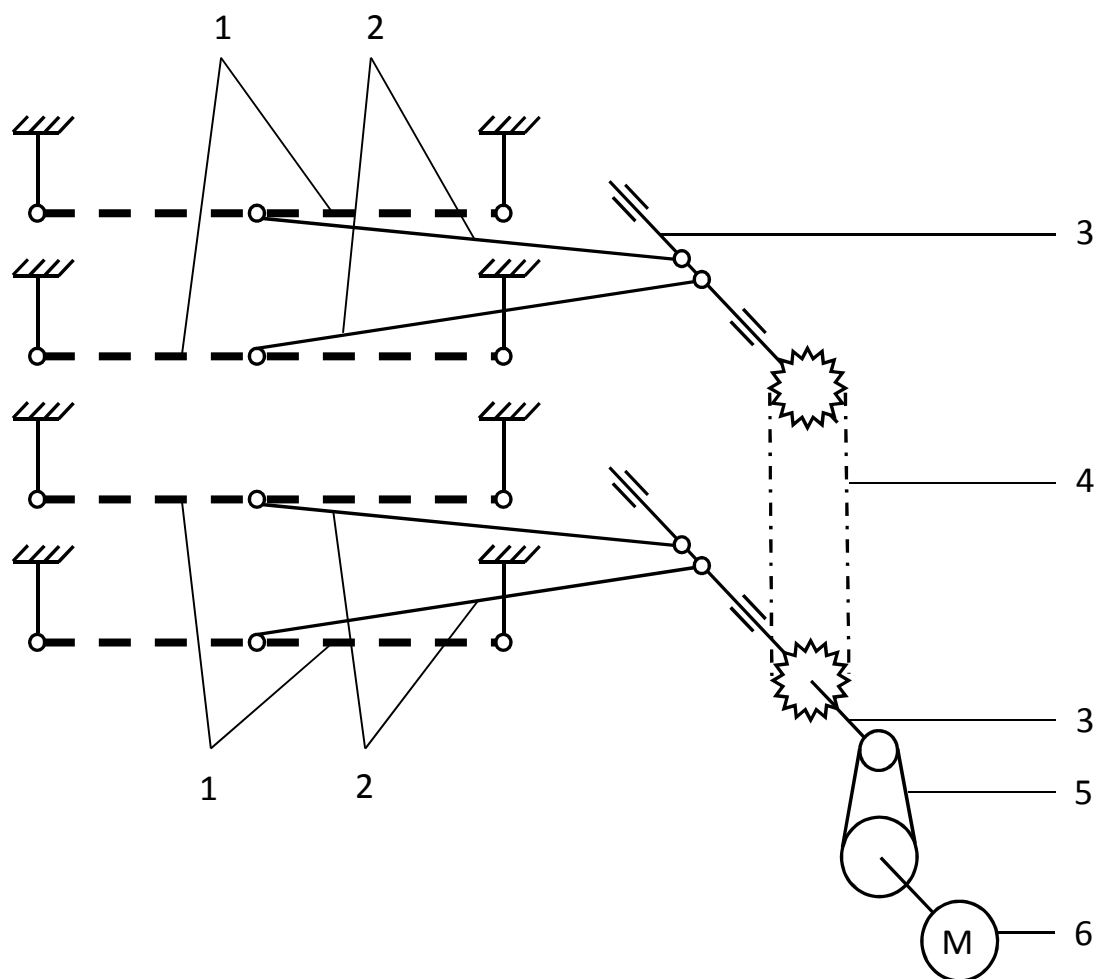


Рис. 2. Кинематическая схема привода решетных станов ОЗС-50:
1 – решетные станы; 2 – шатуны; 3 – эксцентриковые валы;
4 – цепная передача; 5 – клиноременная передача; 6 – электродвигатель

Для каждого конкретного значения ζ определяется полная мощность, потребляемая из сети.

Задача параметрической оптимизации заключается в отыскании (путем сравнения дискретных значений) среди элементов ζ допустимого множества Z (сдвигов фаз колебаний решетных станов $\zeta = \zeta_1 - \zeta_2$) такого элемента ζ^* , который доставляет минимальное значение $w(\zeta^*)$ целевой функции $w(\zeta)$, под которой понимается энергия, потребляемая из сети. Критерием поиска является «min».

Поскольку допустимое множество Z охватывает лишь часть возможных значений сдвига фаз колебаний, то оптимизация может считаться условной.

В соответствии с существующей классификацией использованный метод оптимизации является локальным, параметрическим, детерминированным, одно-

мерным, численным, комбинаторным, прямым, методом дискретного программирования.

Измеренные значения целевой функции $w(\zeta)$ (энергии, потребляемой из сети) для дискретных (с шагом дискретности 18 град.) значений элементов ζ допустимого множества Z (множество сдвигов фаз колебаний решетных станов $\zeta = \zeta_1 - \zeta_2$) приведены в таблице.

Таблица

Определение оптимального сдвига фаз колебаний решетных станов

ζ , град	54	72	90	108	126
$w(\zeta)$, Вт	978	692	375	684	965

График целевой функции $w(\zeta)$ представлен на рисунке 3.

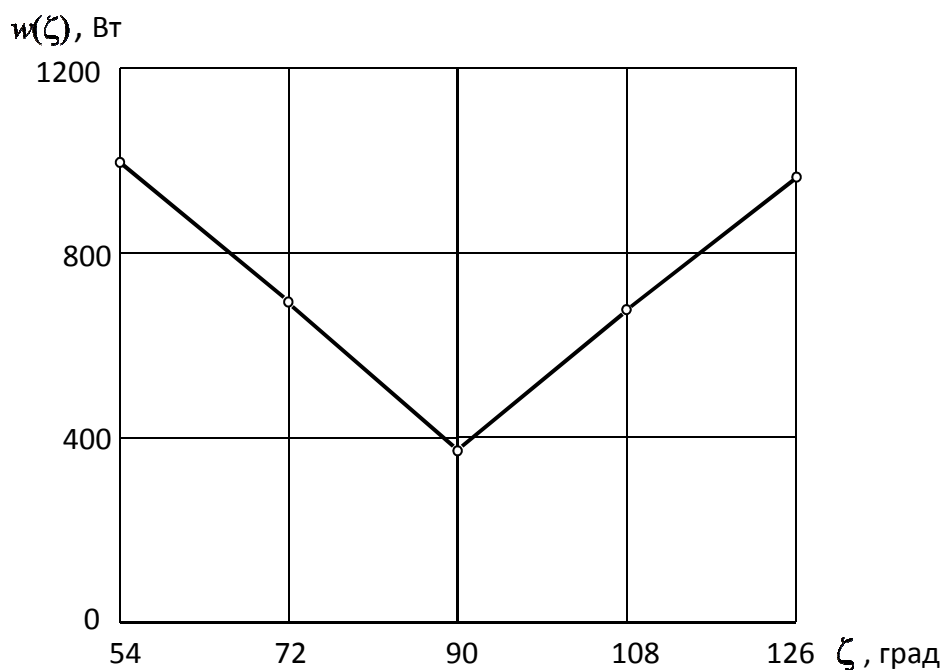


Рис. 3. График целевой функции $w(\zeta)$

Оптимальный сдвиг фаз колебаний решетных станков ζ равен $\pi/2$, что совпадает с результатом решения аналитической оптимизационной задачи. При этом целевая функция $w(\zeta)$ принимает минимальное значение 375 Вт.

Использование приведенной методики позволяет определить оптимальное смещение фаз колебаний решетчатых станков и минимизировать их энергопотребление за счет рациональной установки фаз. Дополнительно это способствует уменьшению нагрузок и снижает износ шарнирных соединений.

Литература

1. Шацкий, В. П. Теоретический анализ кинематических параметров решетных станков зерноочистительных машин / В. П. Шацкий, В. И. Оробинский, Д. Н. Афоничев [и др.] // Resources and Technology. – 2021. – Т. 18, № 2. – С. 18–31.
2. Шевцов, И. В. приводное устройство решетных станков зерноочистительных машин / И. В. Шевцов, В. А. Безносков // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 2(120). – С. 43–45.
3. Анализ работы плоского решета, совершающего колебания в горизонтальной плоскости / А. Ю. Головин, У. К. Сабиев, П. В. Чупин [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 4. – С. 27–34.
4. Попов, И. П. Активная, реактивная и полная механические мощности решетного сепаратора / И. П. Попов, В. Ю. Левитский, С. С. Родионов, С. И. Родионова // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 2(30). – С. 70–73. – EDN AOFTEQ.
5. Анализ работы плоского решета, совершающего колебания в горизонтальной плоскости / А. Ю. Головин, У. К. Сабиев, П. В. Чупин [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 4. – С. 27–34.

6. Сычугов, Н. П. Динамическое уравнивание решетных станков машины вторичной очистки зерна МВО-8Д / Н. П. Сычугов, Ю. В. Сычугов, А. Н. Сычугов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2008. – № 15. – С. 179–184.

7. Александров, И. К. Модернизация традиционной методики расчета фрикционных потерь в парах трения на основе экспериментальных исследований механических потерь в опорах валов / И. К. Александров, В. А. Раков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : Материалы пятой международной научно-технической конференции, Вологда, 25 ноября 2009 года. Том I. – Вологда : Вологодский государственный технический университет, 2009. – С. 21–25.

8. Александров, И. К. Исследование потерь в опорах валов на основе закона Амонтона – Кулона / И. К. Александров, В. А. Раков // Вестник машиностроения. – 2012. – № 4. – С. 3–6.

9. Патент № 2582494 С1 Российская Федерация, МПК G01L 3/00. Способ повышения энергетической эффективности механической передачи за счет оптимизации ее нагрузочного режима : № 2015109978/28 : заявл. 20.03.2015 : опубл. 27.04.2016 / И. К. Александров ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодский государственный университет» (ВоГУ).

10. Попов, И. П. Производительная мощность при сортировке сыпучих материалов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 1(7). – С. 70–72.

11. Попов, И. П. Инертная колебательная система из двух грузов для вибрационных механизмов /

И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 2(8). – С. 10–12.

12. Попов, И. П. Исследование вариантов и особенностей околорезонансных явлений в механических системах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 1(11). – С. 12–18.

13. Попов, И. П. Определение динамических свойств сыпучего материала / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 2(12). – С. 23–27.

14. Popov, I. P. Reducing the total power consumption of the grid separators in feed production /

I. P. Popov, V. G. Chumakov, S. F. Sukhanova // British journal of innovation in science and technology. – 2017. – Vol 2, № 2. – P. 15–20.

15. Energy efficiency assessment of sieve separation gear kinematic diagram / I. P. Popov, V. G. Chumakov, S. S. Rodionov [et al.] // British journal of innovation in science and technology. – 2017. – Vol 2, № 3. – P. 5–11.

16. Попов, И. П. Построение вибрационных сортировальных машин по схеме мультиинертного осциллятора / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 3(9). – С. 14–17.

I.P. Popov¹, V.A. Rakov²

¹Kurgan State University, ²Vologda State University

OPTIMIZATION OF SIEVE BOOTS VIBRATIONS PHASES

The article considers the issue of reducing the energy consumption of sieve boots by optimizing the oscillation phases of individual grates. It is shown that the problem of parametric optimization consists in finding (by comparing discrete values) among elements of an admissible set Z (shifts of oscillation phases of sieve boots) of an element that delivers the minimum value of the objective function, by which is meant the energy consumed from the network. The search criterion is "min". The optimal phase shift of oscillations of sieve boots is $\pi/2$, which coincides with the solution of the analytical optimization problem. In this case the objective function assumes a minimum value of 375 W.

Parametric optimization, phase oscillations, objective function, search criterion.

УДК 656.138



А.В. Востров
Вологодский государственный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВОВ УДЕЛЬНОЙ ТРУДОЕМКОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА СОВРЕМЕННЫХ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

В статье произведен анализ существующих методик и нормативов расчета станций технического обслуживания, а также представлены результаты расчета удельных трудоемкостей технического обслуживания и текущего ремонта современных легковых автомобилей.

Расчет станции технического обслуживания, удельные трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта легковых автомобилей.

При расчете и проектировании станций технического обслуживания (СТО) используют нормативы и методики следующих документов:

1. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта, утв. Министерством автомобильного транспорта РСФСР 20.09.1984 [1] (утратило силу на основании приказа Минтранса России № 311 от 31.08.2020).

Нормативы для легковых автомобилей из этого документа приведены в таблице 1 и относятся к автотранспортным предприятиям, имеющим 200–300 единиц подвижного состава с пробегом с начала эксплуатации 50–75 % до капитального ремонта и при I категории эксплуатации.

2. «Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта»

(утв. протоколом концерна «Росавтотранс» от 07.08.1991 № 3). ОНТП-01-91. РД 3107938-0176-91 [2].

2.1. В разделе 1 для автотранспортных предприятий, эксплуатирующих легковые автомобили, приведены предельные нормативы разовой и удельной трудоемкостей, которые представлены в таблице 2.

2.2. В соответствии с разделом 2 [2] для СТО и гаражей-стоянок нормативы трудоемкости ТО и ТР автомобилей на 1000 км пробега разовые в зависимости от типов автомобилей, для городских и дорожных СТОА рекомендуется принимать не более величин, приведенных в таблице 3.

Примерное распределение трудоемкости ТО и ТР автомобилей по видам работ на городских СТОА представлено в таблице 4.

Таблица 1

Нормативы трудоемкости ТО и ТР подвижного состава выпуска после 1972 г.

Подвижной состав и его основной параметр	Марки, модели подвижного состава (грузоподъемность)	ЕО	ТО-1	ТО-2	Текущий ремонт, чел.ч/1000 км
		чел.ч на одно обслу- живание			
Легковые автомобили: малого класса (рабочий объем двигателя от 1,2 до 1,8 л, сухая масса автомобиля от 850 до 1150 кг)	ВАЗ (кроме 2121), ИЖ, АЗЛК	0,30	2,3	9,2	2,8
среднего класса (от 1,8 до 3,5 л, от 1150 до 1500 кг)	ГАЗ-24-01	0,35	2,5	10,5	3,0
	ГАЗ-24-07	0,50	2,9	11,7	3,2

Таблица 2

Трудоемкости ТО и ТР для АТП

Тип подвижного состава	Нормативы трудоемкости			
	Разовая, чел·ч			Удельная, чел·ч на 1000 пробега
	ЕОс	ТО-1	ТО-2	
Автомобили легковые				ТР
особо малого класса	0,15	1,9	7,5	1,5
малого класса	0,2	2,6	10,5	1,8
среднего класса	0 25	3,4	13,5	2,1

Таблица 3

Нормативы ТО и ТР для СТО

Тип подвижного состава	Нормативы трудоемкости, чел·ч					
	Удельная ТО и ТР на 1000 км пробега	Разовая на 1 заезд				
		ТО и ТР	мойка и уборка	приемка и выдача	предварительная подготовка	противокоррозийное покрытие автомобилей
Городские СТОА						
автомобили легковые:						
особо малого класса	2,0	-	0,15	0,15	3,5	3,0
малого класса	2,3	-	0,2	0,2	3,5	3,0
среднего класса	2,7	-	0,25	0,25	3,5	3,0
Дорожные СТОА						
автомобили легковые	-	2,0	0,2	0,2	-	-
автомобили грузовые и автобусы	-	2,8	0,25	0,3	-	-

Таблица 4

Распределение работ по видам

Виды работ	Процентное соотношение при количестве рабочих постов				
	до 5 вкл.	св. 5 до 10	св. 10 до 20	св. 20 до 30	св. 30
Контрольно-диагностические работы	6	5	4	4	3
Техническое обслуживание в полном объеме	35	25	15	10	6
Смазочные работы	5	4	3	2	2
Регулировка углов управления колес	10	5	4	4	3
Ремонт и регулировка тормозов	10	5	3	3	2
Электротехнические работы	5	5	4	4	3
Работы по системе питания	5	5	4	4	3
Аккумуляторные работы	1	2	2	2	2
Шиномонтажные работы	7	5	2	1	1
Ремонт узлов, систем и агрегатов	16	10	8	8	8
Кузовные и арматурные работы	-	10	25	28	35
Окрасочные и противокоррозийные работы	-	10	16	20	25
Обойные работы	-	1	3	3	2
Слесарно-механические работы	-	8	7	6	5
Итого:	100	100	100	100	100

Расчет объемов работ СТО предложен в [4] и определяется по формуле (1):

$$T = \frac{A_d \cdot L_r \cdot t}{1000}, \quad (1)$$

где A_d – количество обслуживаемых автомобилей;

L_r – годовой пробег автомобилей, км;

t – удельные трудоемкости ТО и ТР, чел·ч/1000 км.

В [3] приведена разновидность методики [2], учитывающей не норматив удельной трудоемкости, а количество автомобилей-заездов в год на 1 автомобиль и среднюю трудоемкость 1 заезда. Указанные выше нормативы не указаны ни в одном из источников и должны определяться в результате исследования при расчете, что, по крайней мере, может быть актуально. Сложность реализации данной методики заключается

в получении достаточного статистического материала для выполнения подобных расчетов.

Для СТО количество рабочих постов уборочно-моечных работ (предшествующих ТО и ТР), постов ТО, диагностирования, разборочно-сборочных и регулировочных работ, кузовных и окрасочных работ ТР, а также вспомогательных постов для приемки и выдачи определяется по формуле (2):

$$P = \frac{T_r \cdot K_H}{D_{rg} \cdot H \cdot T_{cm} \cdot P \cdot K_{исп}}, \quad (2)$$

где T_r – годовой объем постовых работ, чел·ч;

K_H – коэффициент неравномерности загрузки постов;

D_{rg} – число рабочих дней в году;

H – число смен работы в сутки;

T_{cm} – продолжительность смены;

P – численность одновременно работающих на одном посту, чел.;

$K_{исп}$ – коэффициент использования рабочего времени поста.

Для АТП минимальное количество постов ТО-1 и ТО-2, общего и углубленного диагностирования, разборочно-сборочных и регулировочных работ ТР, сварочно-жестяницких, деревообрабатывающих и малярных работ согласно [2] необходимо определять по формуле (3):

$$П = \frac{T_{Г} \cdot K_{Р}}{D_{РГ} \cdot C \cdot \sigma \cdot P \cdot K_{исп}}, \quad (3)$$

где $T_{Г}$ – годовой объем работ, чел·ч;

$K_{Р}$ – коэффициент резервирования постов;

$D_{РГ}$ – число рабочих дней в году;

C – число смен работы в сутки;

σ – продолжительность смены, ч;

P – численность одновременно работающих на одном посту, чел.;

$K_{исп}$ – коэффициент использования рабочего времени поста.

Как видно, формулы (2) и (3) практически идентичны.

Указанные выше документы [1, 2] разработаны 40–50 лет назад. Приведенные нормативы основаны на показателях автомобилей другого технического и технологического уровня, чем современные автомобили. Эти документы легли в основу методики расчета СТО [4].

За последние 40 лет, по сути, переиздаются учебники по расчету СТО, основанные на нормативах 1980-х годов [3–8].

Технический уровень автомобилей, их надежность и состав работ существенно изменились и расчеты по нормативам 40-летней давности не могут дать правильного результата.

И если расчет числа постов по формулам (2) или (3) технически обоснован, то определение объемов и содержания работ по формуле (1) с использованием нормативов таблиц 1–4 абсолютно устарели и требуют пересмотра.

В данной работе определен норматив удельной трудоемкости ТО и ТР современных легковых автомобилей.

Данные собраны на основе изучения эксплуатации 72 легковых автомобилей на одном предприятии с общим пробегом парка 2,14 млн км при среднегодовых пробегах 29 769 км (максимум 49 499 км). Парк состоит из следующих основных моделей автомобилей: Toyota Camry (39 ед.); Skoda Rapid (13 ед.); Chevrolet Tahoe и УАЗ Патриот (по 3 ед.) и еще 14 единиц разномарочных автомобилей по 1–2 ед. Предприятие значительное внимание уделяет бережному управлению автомобилем (не такси), и поэтому человеческий фактор в исходных данных минимален.

Средний возраст парка составляет 6,2 года. Среднее значение удельной трудоемкости ТО и ТР для всей выборки составляет 0,390 чел·ч/1000 км.

На рисунке 1 указано изменение показателей удельной трудоемкости ТО и ТР для каждого автомобиля в выборке в зависимости от возраста автомобиля, определены средняя трудоемкость для каждого года и определены регрессионные модели для средних годовых значений.

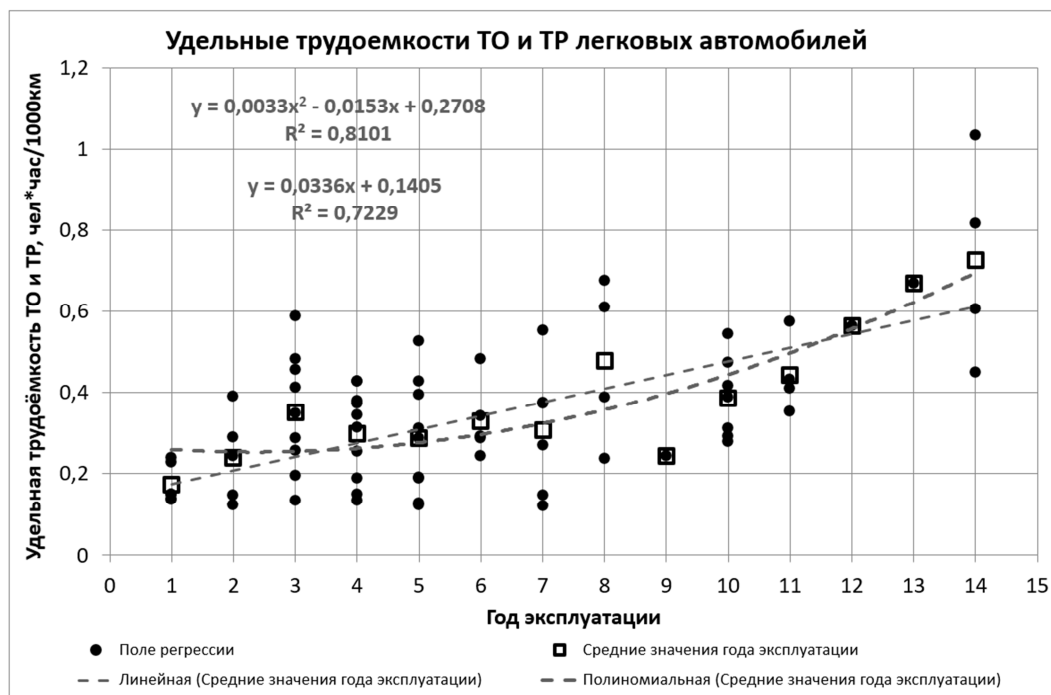


Рис. 1. Средние значения удельных трудоемкостей ТО и ТР для каждого года эксплуатации с аппроксимирующими моделями

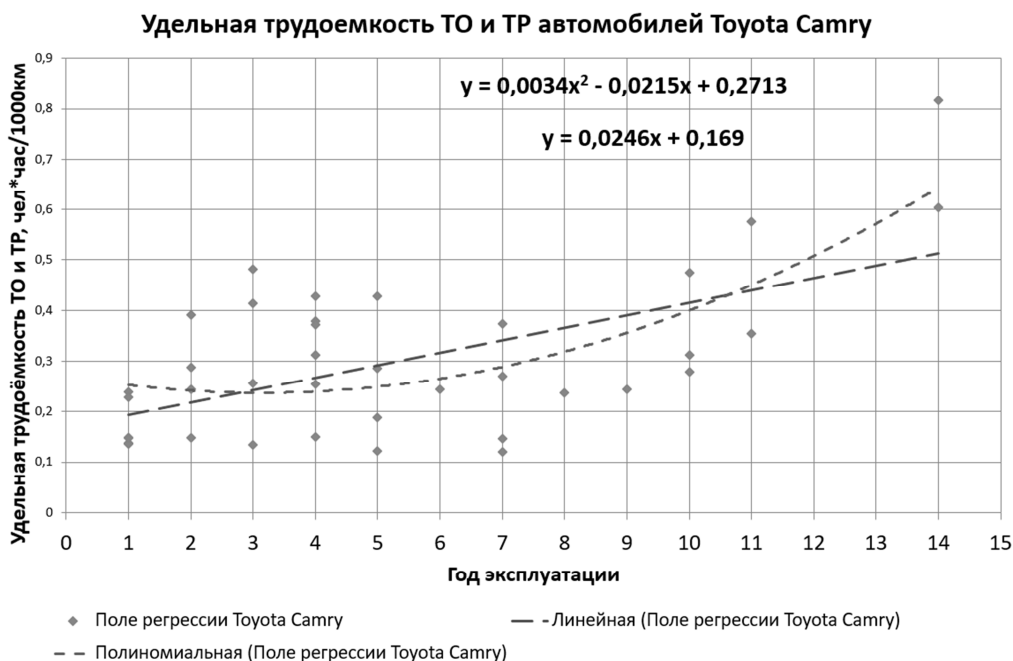


Рис. 2. Данные по автомобилям TOYOTA CAMRY

Величина достоверности аппроксимации для линейной модели 0,72; для полинома второй степени – 0,81. Как видно из рисунка 1, до 7 года эксплуатации (до 200 000 км) значения удельные трудоемкости ТО и ТР находятся на достаточно стабильном уровне порядка 0,3 чел.ч/1000 км, а затем начинают увеличиваться. Наиболее близко данную закономерность воспроизводит полинома второй степени, что подтверждается самым высоким значением величины достоверности аппроксимации.

Согласно принятым в ОНТП 01-91 [2] и переиздаваемым в учебниках [4–8] нормативам удельные трудоемкости ТО и ТР рекомендуется принимать для легковых автомобилей малого класса 2,3, а среднего класса 2,7 чел.ч/1000 км. Как видно, фактические значения удельных трудоемкостей ТО и ТР современных автомобилей в 6,9 раз ниже установленных в 1991 году и перепечатываемых в современных учебниках и пособиях.

На предприятии эксплуатируется 39 автомобилей Toyota Camry. Регрессионное поле и модели аппроксимации для данных значений представлены на рисунке 2. Объем выборки 1,07 млн км. Среднегодовой пробег 27 436 км.

Средняя удельная трудоемкость ТО и ТР для автомобиля Toyota Camry составляет 0,328 чел.ч/1000 км, что 8,2 раза меньше, чем для автомобиля среднего класса согласно [2–8].

Указанные объемы работ по ТО и ТР состоят из общецеховых работ и не включают окрасочные и кузовные (т.к. в выборке таковых работ не было). Очевидно, что указанные кузовные и окрасочные работы должны учитываться при расчете СТО исходя из аварийности в регионе и стране и определения трудоемкости таких работ, что является темой отдельного исследования. Выделение из указанных работ по ТО и ТР, выполняемых на отдельных постах (диагностиче-

ских и электротехнических, регулировка углов установки колес, шиномонтажные), требуют отдельного исследования. Оценочно такие работы составляет менее 10 %.

В производстве и образовании при расчете СТО необходимо пользоваться обновленными нормативами удельных трудоемкостей ТО и ТР.

Литература

1. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901788952> (дата обращения: 27.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Текст : электронный.
2. ОНТП-01-91. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта: утв. протоколом концерна «Росавтотранс» 07.08.1991 : введен 01.09.1991. – Москва : Росавтотранс, 1991. – 66 с.
3. Марков, О. Д. Станции технического обслуживания / О. Д. Марков. – Киев : Кондор, 2008. – 536 с.
4. Напольский, Г. М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания / Г. М. Напольский. – Москва : Транспорт, 1993. – 230 с.
5. Напольский, Г. М. Технологический расчет и планировка станций технического обслуживания автомобилей : учебное пособие к курсовому проектированию по дисциплине «Произв.-техн. инфраструктура предприятий автомоб. Транспорта» / Г. М. Напольский, А. А. Солнцев. – Москва : МАДИ (ГТУ), 2003. – 53 с.
6. Технологический расчет и планировка станций технического обслуживания : методическое пособие к курсовому проектированию / составитель О. Н. Пикалев. – Вологда : ВоГУ, 2015. – 28 с.

7. Колубаев, Б. Д. Дипломное проектирование станций технического обслуживания автомобилей : учебное пособие для СПО / Б. Д. Колубаев, И. С. Туревский. – Москва : ФОРУМ, 2017. – 239 с.

8. Технологический расчет и планировка станций технического обслуживания автомобилей : учеб-

ное пособие / К. В. Лялин, В. П. Лялин. – Екатеринбург : Издательство Российского государственного профессионально-педагогического университета, 2019. – 124 с.

A. V. Vostrov
Vologda State University

DETERMINATION OF STANDARDS FOR SPECIFIC LABOR INTENSITY OF MAINTENANCE AND ROUTINE REPAIR OF MODERN PASSENGER CARS

The article analyzes the existing methods and standards for calculating service stations, and also presents the results of calculating the specific labor intensity of maintenance and repair of modern passenger cars.

Calculation of a service station, specific labor intensity of maintenance and repair of passenger cars.



А.Н. Котомчин, Е.Ю. Ляхов, Ю.Г. Ляхов
Приднестровский государственный университет
имени Т.Г. Шевченко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ И ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН В УСЛОВИЯХ ПРИДНЕСТРОВЬЯ

В статье освещены вопросы применения полимерных композиционных материалов при восстановлении деталей транспорта, перспективы и существующие составы, которые используются при ремонте в условиях предприятий Приднестровья. Дана характеристика некоторых имеющихся составов по составу и прочности на растяжения. Представлены предложения по дальнейшему совершенствованию с целью использования для восстановления высоконагруженных деталей.

Полимерные композиционные материалы, транспорт, восстановление, прочность на растяжение, высоконагруженные детали.

Ремонтная база Приднестровья, как и в странах СНГ, находится на низком уровне. Разрушение производственных связей и предприятий в целом, обеспечивающих капитальный ремонт автомобилей и дорожно-строительных машин (ДСМ) консервативными методами, такими как сварка и наплавка, слесарно-механическая обработка, электрохимические способы восстановления и др., привел к сокращению возможностей восстановления работоспособности путем проведения капитального ремонта. Зачастую ремонт техники производится в условиях малых мастерских или СТО, где уровень оснащения и трудового потенциала ограничен и не дает достаточного качества ремонта [1, 2].

Исходя из мировых тенденций и опыта передовых стран к 2000-м годам Приднестровье перешло на метод восстановления работоспособного состояния деталей и узлов автомобилей и ДСМ путем замены на новые, однако данный метод вместе с положительными факторами, такими как надежность и эксплуатация (новые оригинальные детали соответствуют гарантированному сроку службы и производятся в соответствии со строгими стандартами качества); соответствие стандартам производителя (оригинальные запчасти лучше соответствуют конструкции и параметрам устройства автомобиля или ДСМ); гарантия на новые запчасти (завод производитель гарантирует, что новые оригинальные запчасти не откажут в период заявленной наработки); долгосрочное обслуживание (замена оригинальных новых деталей обеспечивает поддержание оборудования в рабочем состоянии в течение заданного времени без необходимости обслуживания и ремонта), имеет и ряд отрицательных факторов: высокая стоимость, долгая срочная доставка, зависимость от производителя, сложности с соблюдением условий эксплуатации [3, 4, 10].

Кроме этого, научно обоснованно, что использование новых деталей совместно со старыми, имеющими достаточный ресурс и износ, позволяющий дальнейшую эксплуатацию, приводит к более интенсивному износу или даже отказу агрегата. Это обусловлено сложными процессами, протекающими в период приработки. Так, например, использование новых золотников гидрораспределителя при ремонте приводит к снижению ресурса корпуса из-за высокой интенсивности образования продуктов износа и появления кавитационных раковин, которые приводят к потере работоспособности агрегата в целом [6]. Исследования также показали, что использование дополнительных деталей при восстановлении посадочных мест под подшипники приводит к снижению ресурса корпуса вследствие появления микротрещин, увеличения зазора и, как следствие, подшипника в посадочном месте, что приводит к отказу всего агрегата.

Таким образом, перечисленные способы и методы восстановления в границах Приднестровья не могут в полной мере удовлетворить потребность транспортных и дорожно-строительных предприятий в ремонтно-восстановительных работах и обеспечить качественный и своевременный ремонт.

Одним из перспективных способов восстановления деталей и узлов автомобилей и ДСМ является применение полимерных материалов и композиций на их основе [5].

Тенденции развития химической промышленности и увеличение спектра полимерных материалов в купе с развитием методов и способов восстановления деталей и узлов автомобилей и ДСМ показывают ряд положительных факторов использования полимерных композиционных материалов (ПКМ) в ремонтном производстве: меньшие затраты на оборудование и материалы; отсутствие термической деформации; высокая стойкость к коррозии и химическим воздействиям; умень-

шение веса ремонтируемой детали; гибкость в применении к сложным формам; возможность локального восстановления; увеличение ресурса и ликвидности; экологичность и скорость процесса [7].

Таким образом, применение ПКМ позволяет восстанавливать оригинальные изношенные детали с заданными свойствами, с достаточно низкой себестоимостью в короткие сроки, кроме этого, данный способ можно использовать в условиях низкой оснащенности, не требующей достаточных вложений при организации ремонта.

Анализ научных трудов иностранных и отечественных ученых показал, что наибольшее применение в ремонтном производстве нашли эпоксидные смолы и композиции на их основе. Вместе с тем можно отметить, что отечественная химическая промышленность выпускает смолы ЭД-16; ЭД-20; ЭД-22, которые широко используются на ремонтных предприятиях в сочетании с дополнительными компонентами, которые вводятся для придания требуемых свойств. В странах Европы (Великобритания, Польша и др.), а также Америке химической промышленностью также выпускается полимер на основе эпоксидной смолы, но в форме готовой к применению композиции [7, 8].

Так, например, американской фирмой VersaChem выпускается ряд готовых к применению эпоксидных композиций (ЭК), состав которых представлен в таблице.

Анализируя табличные данные и технические паспорта на ЭК можно сделать следующие выводы:

1. Представленные готовые эпоксидные композиции не обладают универсальностью, а в большей степе-

ни предназначены для применения на конкретных материалах поверхностей, что существенно сужает спектр их применения.

2. Малое время первоначального застывания от 4 до 10 минут (за исключением Versachem Steel Weld Epoxy 47709, у которого время застывания благодаря введенному эфиру до 90 минут), что делает невозможным их использование для ремонта деталей большого размера, а также снижает качество покрытия при несоблюдении времени нанесения и приготовления.

3. Из-за малого времени первоначального застывания сложно вносить дополнительные компоненты для армирования и придания дополнительных свойств. Это ограничивает область применения вышеуказанных ПКМ.

4. Не изучены влияния внешних факторов (воздействие тепла, ультрафиолета, микроволн, ультразвуковых колебаний) на формирование и отверждение полимерной композиции.

В связи с упомянутыми недостатками, в Приднестровье на базе научной исследовательской лаборатории проводятся исследования новых составов полимерных композиционных материалов с возможностью использования при восстановлении деталей техники как неподвижных базовых, так и подвижных испытывающих знакопеременные нагрузки [9].

Цель проведения исследований – получение новых составов ПКМ, и технологий их применения для придания требуемых свойств, которые будут возможно использовать в условиях предприятий Приднестровья, эксплуатирующих технику.

Таблица

Состав эпоксидных композиций фирмы VersaChem (США) и области их применения

<i>№ п/п</i>	<i>Название ЭК и код продукта</i>	<i>Химический элемент</i>	<i>Массовая доля, %</i>	<i>Применение</i>
1	Versachem 4 minute Steel Epoxy 44209	Известняк	30–60	Склеивание металла с металлом или ремонта дефектов в металле
		Бензиловый спирт	5–10	
		Алкофен	5–10	
		Кристаллический кремний	0,1–1	
2	Versachem Steel Weld Epoxy 47709	2,2-бис(4-(2,3-Эпоксипропоксифенил)пропан	40–70	Склеивание всех металлов, стали, нержавеющей стали, алюминия, латуни и т.д.
		Кальция карбонат	10–30	
		Алкил глицидиловый эфир	1–5	
3	Versachem Plastic Welder 47809	Метилметакрилат	30–60	Склеивание разнородных материалов и неподготов- ленных металлов
		Бутированный гидрокситолуол	5–10	
		Метакриловая кислота	5–10	
		Диметилбензол Гидроперекись	1–5	
		Кумол	0,1–1	
4	Versachem 5 Minute Clear Epoxy 46409	2,2-бис(4-(2,3-Эпоксипропоксифенил)пропан	100	Склеивание металла, дере- ва, хрома, бетона, стекла, керамики, стекловолокна, фарфора и др.

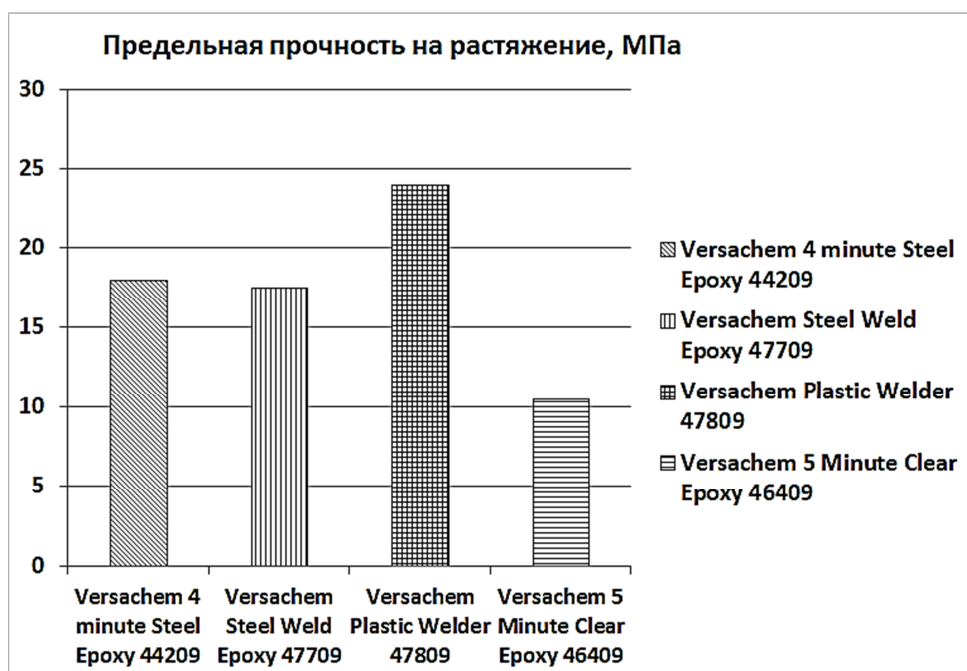


Рис. Пределная прочность на растяжение готовых составов ПКМ, МПа

Предварительные исследования ПКМ на прочность растяжения по данным завода-изготовителя показаны на рисунке.

Анализ рисунка показал, что существующие ПКМ, которые используют при ремонте техники, обладают недостаточной прочностью на растяжение для использования их при ремонте сильно нагруженных деталей, которые могут воспринимать знакопеременные нагрузки, такие как посадочные места под подшипники, рабочие поверхности гидроагрегатов, двигателей, трансмиссии и т.д. Поэтому дальнейшие исследования ПКМ с добавлением различных армирующих присадок могут позволить улучшить физико-механические свойства и тем самым использовать для восстановления высоконагруженных деталей.

В связи вышеизложенным можно сделать следующие выводы:

1. Парк автомобильной техники и ремонтная база предприятий Приднестровья требуют разработки новых технически и экономически обоснованных способов ремонта.
2. Полимерные композиционные покрытия имеют перспективу использования при восстановлении деталей машин в Приднестровском регионе.
3. Поддержание работоспособного состояния и снижение себестоимости эксплуатации требуют использовать технологии восстановления с низкой себестоимостью и высокой надежностью.
4. Исследования ПКМ в части массовых сочетаний химических добавок (органических и не органических) и дополнительного внешнего воздействия может привести к получению новых покрытий с необходимыми физико-механическими и техническими свойствами.

Литература

1. Артеменко, А. И. Анализ отказов деталей гидропривода специализированного автотранспорта /

А. И. Артеменко, А. Н. Котомчин // Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робототехнических комплексов : Сборник статей Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 100-летию со дня рождения ветерана Великой Отечественной Войны, заслуженного деятеля науки и техники, заслуженного изобретателя РФ, д.т.н., профессора Николая Федоровича Тельнова (Москва, 19–20 декабря 2023 г.). – Москва : Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 2024. – С. 274–278.

2. Котомчин, А. Н. Анализ отказов узлов и агрегатов специализированного автотранспорта, возникающих в процессе эксплуатации / А. Н. Котомчин, В. А. Зорин // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2021 : материалы VII международной научно-практической конференции, в рамках 7-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие» (Горловка, 25 мая 2021 г.). – Горловка : Автомобильно-дорожный институт Донецкого национального технического университета, 2021. – С. 72–75.

3. Котомчин, А. Н. Анализ отказов узлов и агрегатов строительных, дорожных, подъемно-транспортных машин и специализированного автотранспорта на примере МУП «КоммуналДорСервис» г. Бендеры / А. Н. Котомчин, Ю. Г. Ляхов // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2019. – № 3 (63). – С. 174–178.

4. Котомчин, А. Н. Влияние условий эксплуатации дорожно-строительных машин и специализиро-

ванного автотранспорта на ресурс их узлов и агрегатов / А. Н. Котомчин, Н. И. Корнейчук // Технический сервис машин. – 2019. – № 2(135). – С. 135–142.

5. Котомчин, А. Н. Повышение производительности и качества нанесения полимерных композиций при восстановлении посадочных мест под подшипники агрегатов автомобилей и дорожно-строительной техники / А. Н. Котомчин, Е. Ю. Ляхов, В. А. Зорин // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2024. – № 2(77). – С. 82–92.

6. Котомчин, А. Н. Совершенствование технологии электролитического хромирования для восстановления деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Котомчин Алексей Николаевич, 2022. – 198 с.

7. Ляхов, Е. Ю. Исследование процессов восстановления посадочных мест подшипников автомобилей с помощью полимерных композиционных мате-

риалов : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ляхов Евгений Юрьевич, 2022. – 149 с.

8. Ляхов, Е. Ю. Определение оптимальных технологических режимов нанесения ремонтных полимерных материалов / Е. Ю. Ляхов, В. А. Зорин, Ю. В. Штефан // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2020. – № 4(54). – С. 15–25.

9. Ляхов, Е. Ю. Повышение эффективности эксплуатации дорожных машин и автомобилей за счет применения ремонтных полимерных материалов / Е. Ю. Ляхов, В. А. Зорин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2021. – № 1(95). – С. 39–43.

10. Янута, А. С. Анализ отказов агрегатов грузовых автомобилей КАМАЗ автотранспортных предприятий г. Бендеры / А. С. Янута // Высокие технологии и инновации в науке : сборник избранных статей Международной научной конференции (Санкт-Петербург, 28 января 2021 г.). – Санкт-Петербург : ГНИИ «Нацразвитие», 2021. – С. 171–176.

*A.N. Kotomchin, E.Yu. Lyakhov, Yu.G. Lyakhov
T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University*

USE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS WHEN RESTORING CAR PARTS AND ROAD CONSTRUCTION MACHINERY IN CONDITIONS OF TRANSNISTRIA

The article highlights the issues of the use of polymer composite materials in the restoration of transport parts. Prospects and existing compositions that are used in the repair at the enterprises in Transnistria. The characteristics of some available formulations in terms of composition and tensile strength are given. Proposals for further improvement aiming at using highly loaded parts for restoration are presented.

Polymer composite materials, transportation, restoration, tensile strength, high-load parts.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Андреев Денис Николаевич

студент Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

andreevdenisnikolaevich@ya.ru

Андрианов Константин Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Городское строительство и автомобильные дороги» Тамбовского государственного технического университета (Тамбов, Россия)

konst-68@yandex.ru

Баёв Александр Сергеевич

доктор технических наук, профессор, академик Российской Академии Естествознания (Санкт-Петербург, Россия)

bas1949@yandex.ru

Вольников Михаил Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и управление» Пензенского государственного технологического университета (Пенза, Россия)

vmi1972@yandex.ru

Вольников Егор Михайлович

студент Московского авиационного института (МАИ) (Москва, Россия)

vem161106@yandex.ru

Востров Анатолий Валентинович

старший преподаватель кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

anatoly_1@mail.ru

Габибов Нурулла Наджаф оглы (Наджафович)

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

Nurulla1962@yandex.ru

Дрогунов Дмитрий Сергеевич

аспирант Тамбовского государственного технического университета (Тамбов, Россия)

drogunoff.dmitrij@yandex.ru

Зарапина Любовь Сергеевна

аспирант Тамбовского государственного технического университета (Тамбов, Россия)

lyubov.guseva.2012@bk.ru

Зубков Анатолий Федорович

профессор кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги» Тамбовского государственного технического университета (Тамбов, Россия)

afzubkov2013@yandex.ru

Казакова Ирина Сергеевна

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

kazakova.is@yandex.ru

Кочкин Дмитрий Валерьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

kochkindv@bk.ru

Котомчин Алексей Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортно-технологические машины и комплексы» Приднестровского государственного университета имени Т.Г. Шевченко (Тирасполь, Приднестровье)
aleshka81@list.ru

Ларькина Татьяна Сергеевна

старший преподаватель кафедры электромеханических систем филиала Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске (Смоленск, Россия), старший преподаватель кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Белорусско-Российского университета (Могилев, Россия)
tatyana.larkina.2015@yandex.ru

Ляхов Евгений Юрьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортно-технологические машины и комплексы» Приднестровского государственного университета. Т.Г. Шевченко (Тирасполь, Приднестровье)
sami77752@gmail.com

Ляхов Юрий Генрихович

старший преподаватель кафедры «Транспортно-технологические машины и комплексы» Приднестровского государственного университета имени Т.Г. Шевченко (Тирасполь, Приднестровье)
sami77752@gmail.com

Малышев Владимир Сергеевич

кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительства, энергетики и транспорта Мурманского государственного технического университета (Мурманск, Россия)
malyshevvs@mstu.edu.ru

Пантеев Сергей Петрович

доцент кафедры строительства, энергетики и транспорта Мурманского государственного технического университета (Мурманск, Россия)
pantileevsp@mstu.edu.ru

Полянский Андрей Михайлович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматики и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
ampol@yandex.ru

Попов Игорь Павлович

старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов Курганского государственного университета (Курган, Россия)
ip.porow@yandex.ru

Раков Вячеслав Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
vyacheslav.rakov@mail.ru

Рахимов Амон Акпарович

кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры высшей математики и информатики политехнического института Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими (Душанбе, Республика Таджикистан)
amon_rahimov@mail.ru

Селянин Николай Сергеевич

студент кафедры автоматики и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
selianinns@vogu35.ru

Серегичев Константин Сергеевич

аспирант кафедры автоматики и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
seregichevks@yandex.ru

Смирнов Владимир Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры строительной и теоретической механики Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ) (Москва, Россия)
VASmirnov@mgsu.ru

Соловьева Анастасия Андреевна

аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
solovevaaa@vogu35.ru

Суконщиков Алексей Александрович

кандидат технических наук, заведующий кафедрой автоматики и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
starostinav@vogu35.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andreev Denis Nikolaevich

Student of the Civil Engineering Institute of Vologda State University (Vologda, Russia)
andreevdenisnikolaevich@ya.ru

Andrianov Konstantin Anatolyevich

Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Head of the Department of Urban Construction and Highways of Tambov State Technical University (Tambov, Russia)
konst-68@yandex.ru

Bayov Alexander Sergeevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences (Saint Petersburg, Russia)
bas1949@yandex.ru

Volnikov Mikhail Ivanovich

Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department of Automation and Control of Penza State Technological University (Penza, Russia)
vmi1972@yandex.ru

Volnikov Egor Mikhailovich

Student of Moscow Aviation Institute (MAI) (Moscow, Russia)
vem161106@yandex.ru

Vostrov Anatoly Valentinovich

Senior Lecturer, Department of Automobiles and Automobile Industry, Vologda State University (Vologda, Russia)
anatoly_1@mail.ru

Gabibov Nurulla Najaf oglu (Najafovich)

PhD in Technical Sciences, Associate professor, the Department of Motorways of Civil Engineering Institute of Vologda State University (Vologda, Russia)
Nurulla1962@yandex.ru

Drogunov Dmitry Sergeevich

Postgraduate student of Tambov State Technical University (Tambov, Russia)
drogunoff.dmitrij@yandex.ru

Zarapina Lyubov Sergeevna

Postgraduate student of Tambov State Technical University (Tambov, Russia)
lyubov.guseva.2012@bk.ru

Zubkov Anatoly Fedorovich

Professor of the Department of Urban Construction and Highways of Tambov State Technical University (Tambov, Russia)
afzubkov2013@yandex.ru

Kazakova Irina Sergeevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Construction of Vologda State University (Vologda, Russia)
kazakova.is@yandex.ru

Kochkin Dmitry Valerievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
kochkindv@bk.ru

Kotomchin Aleksey Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes of the Pridnestrovian State University named after T. G. Shevchenko (Tiraspol, Pridnestrovie)

aleshka81@list.ru

Larkina Tatyana Sergeevna

Senior lecturer at the Department of Electromechanical Systems of the National Research University "MPEI" (Smolensk, Russia)

Senior Lecturer, Department of Electric Drive and Automation of Industrial Installations, Belarusian-Russian University (Mogilev, Russia)

tatyana.larkina.2015@yandex.ru

Lyakhov Evgeny Yuryevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes of Pridnestrovian State University named after T. G. Shevchenko (Tiraspol, Pridnestrovie)

sami77752@gmail.com

Lyakhov Yuri Genrikhovich

Senior Lecturer of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes of the Pridnestrovian State University named after T. G. Shevchenko (Tiraspol, Pridnestrovie)

sami77752@gmail.com

Malyshev Vladimir Sergeevich

PhD, Associate Professor, Professor, the Department of Construction, Energy and Transport, Murmansk State Technical University (Murmansk, Russia)

malyshevvs@mstu.edu.ru

Pantileev Sergey Petrovich

Associate Professor, the Department of Construction, Energy and Transport, Murmansk State Technical University (Murmansk, Russia)

pantileevsp@mstu.edu.ru

Polyanskii Andrey Mikhailovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Computer Engineering of the Vologda State University (Vologda, Russia)

ampol@yandex.ru

Popov Igor Pavlovich

Senior Lecturer of the Department of Mechanical Engineering Technology, Machine Tools and Tools of the Kurgan State University (Kurgan, Russia)

ip.popov@yandex.ru

Rakov Vyacheslav Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile Industry of the Vologda State University (Vologda, Russia)

vyacheslav.rakov@mail.ru

Rakhimov Amon Akparovich

Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Higher Mathematics and Informatics of Polytechnic Institute, Tajik Technical University named after the academician M.S. Osimi (Republic of Tajikistan, Dushanbe)

amon_rahimov@mail.ru

Selyanin Nikolay Sergeevich

Student of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)

selianinns@vogu35.ru

Seregichev Konstantin Sergeevich

Postgraduate student of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)

seregichevks@yandex.ru

Smirnov Vladimir Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department of Structural and Theoretical Mechanics, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) (Moscow, Russia)

VASmirnov@mgsu.ru

Solovyova Anastasia Andreevna

Postgraduate student of the Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)

solovevaaa@vogu35.ru

Sukonshchikov Aleksey Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)

starostinav@vogu35.ru