

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.

№ 3 (13) / 2021

СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВОЛОГДА
2021

№ 3 (13) / 2021 / НОЯБРЬ. Выходит 4 раза в год.

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

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

Серия: Технические науки

Группы специальностей: 1.2. Компьютерные науки и информатика;

2.1. Строительство и архитектура;

2.5. Машиностроение

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

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

Главный редактор

А.А. Кочкин, доктор технических наук, зав. кафедрой промышленного и гражданского строительства, доцент Вологодского государственного университета

Заместители главного редактора:

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

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

Секретарь

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

Члены редколлегии:

П.Ю. Бочкарев, доктор технических наук, профессор Волгоградского государственного технического университета,

В.А. Горбунов, доктор физико-математических наук, профессор Вологодского государственного университета,

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

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

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

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

С.А. Мясникова, кандидат технических наук, зам. директора Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета,

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

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

А.А. Суконщиков, кандидат технических наук, доцент Вологодского государственного университета,

Н.Н. Трушин, доктор технических наук, профессор Тульского государственного университета,

Д.С. Шишигин, кандидат технических наук, зам. директора Института машиностроения, энергетики и транспорта Вологодского государственного университета,

С.Л. Шишигин, доктор технических наук, профессор Вологодского государственного университета,

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

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

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

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

Оригинал-макет – *Н.В. Подхомутова*

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

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

BULLETIN OF VOLOGDA STATE UNIVERSITY

SCIENTIFIC JOURNAL

First published in 2018

No. 3 (13) / 2021

SERIES: TECHNICAL SCIENCIES

VOLOGDA
2021

No. 3 (13) / 2021 / NOVEMBER. It is issued 4 times a year.

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

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

Series: Technical Sciences

Academic areas: 1.2. Computer Science and Informatics;
2.1. Construction and architecture;
2.5. Mechanical engineering

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

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

Editor-in-Chief

A.A. Kochkin, Doctor of Engineering, Head of the Department of Industrial and Civil Construction, Associate Professor of Vologda State University

Assistant editors:

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

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

Secretary:

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

Members of the Editorial Board:

P.Yu. Bochkarev, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Volgograd State Technical University,

V.A. Gorbunov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Vologda State University,

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

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

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

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

S.A. Myasnikova, Candidate of Engineering, Deputy Director of Civil Engineering Institute of Vologda State University

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

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

A.A. Sukonshchikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vologda State University,

N.N. Trushin, Doctor of Technical Sciences, Professor of Tula State University,

D.S. Shishigin, Candidate of Engineering, Deputy Director of the Institute of Engineering, Energy and Transport, Vologda State University,

S.L. Shishigin, Doctor of Technical Sciences, Professor of Vologda State University,

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

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

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

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

Original layout – N.V. Podhomutova

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

ISSN 2658-3399

© FSBEI of HE Vologda
State University, 2021

Содержание

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ И ИНФОРМАТИКА

<i>Андрианов И.А., Ржеуцкий А.В., Ржеуцкая С.Ю.</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРУДНОСТИ УЧЕБНЫХ ЗАДАНИЙ В АДАПТИВНОЙ СРЕДЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ	7
<i>Булавин В.Ф., Булавина Т.Г.</i> ЦИФРОВОЕ ОКРУЖЕНИЕ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	12
<i>Волкова С.С.</i> АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ ЛИЦЕВЫХ БИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ	16
<i>Дианов С.В., Швецов А.Н., Дианов Д.С.</i> АЛГОРИТМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ АКТИВНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ	20
<i>Корнеев А.П.</i> УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ	24
<i>Маслович С.Ф., Сеглин Р.О.</i> РАЗРАБОТКА МИКРОСЕРВИСА ОТОБРАЖЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ В УНИВЕРСИТЕТЕ	27
<i>Полянский А.М.</i> PLM-СИСТЕМА ДЛЯ ПРОГРАММИСТА	30

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Вудвуд Е.Р., Джебеецкая Е.В.</i> АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ	36
<i>Гудков А.Г., Безрукова А.И.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ГОРОДА СЫКТЫВКАРА	39
<i>Огородов Л.И., Шапкина В.А.</i> МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОСЛЕ МНОГОЛЕТНЕГО ЕСТЕСТВЕННОГО СТАРЕНИЯ	44
<i>Павлов М.В., Карпов Д.Ф.</i> ТЕПЛОВЫЙ БАЛАНС КУЛЬТИВАЦИОННОГО СООРУЖЕНИЯ С КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ОТОПЛЕНИЯ	47
<i>Соловьев С.А., Соловьева А.А., Шевцов Л.С.</i> ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК И ПЛИТ ПОСЛЕ ПОЖАРА ПРИ НЕПОЛНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	51

МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>Аваев А.А.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ ЭЛАСТОМЕРА В СИСТЕМЕ МЕТАЛЛ–ЭЛАСТОМЕР	56
<i>Кулева Н.И., Степанов А.С., Старостин А.В.</i> МЕСТО КАЛИТОЛОГИИ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	59
<i>Попов И.П.</i> МЕХАНИЧЕСКАЯ РЕАКТИВНАЯ ИНЕРЦИОННАЯ МОЩНОСТЬ В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	63
<i>Пустоветов М.Ю.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ СИЛОВОГО АГРЕГАТА КАТЕРА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ РЕСУРСОВ	66
<i>Фролов А.А., Степанов А.С., Фролов С.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ УДЕРЖАНИЯ ШИПОВ ПРОТИВОСКОЛЬЖЕНИЯ В ПРОТЕКТОРЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ШИНЫ	70
<i>Яняк С.В., Комиссарова И.И.</i> РЕЖУЩИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ТИТАНА С ЖЕЛЕЗО-МОЛИБДЕНОВОЙ СВЯЗКОЙ	74
<i>Сведения об авторах</i>	79

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATICS

<i>Andrianov I.A., Rzheutskiy A.V., Rzheutskaya S.U.</i> PREDICTING DIFFICULTY OF TRAINING TASKS IN ADAPTIVE E-LEARNING ENVIRONMENT	7
<i>Bulavin V.F., Bulavina T.G.</i> DIGITAL ENVIRONMENT FOR SMALL BUSINESSES.....	12
<i>Volkova S. S.</i> VULNERABILITY ANALYSIS OF FACIAL BIOMETRIC SYSTEMS.....	16
<i>Dianov S.V., Shvetsov A.N., Dianov D.S.</i> ALGORITHM OF FUZZY INFERENCE FOR MODELING MEDICAL ACTIVITY OF POPULATION OF THE TERRITORY	20
<i>Korneev A. P.</i> CONTROL OF SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS	24
<i>Maslovich S.F., Seglin R.O.</i> DEVELOPMENT OF MICROSERVICE FOR DISPLAYING UNIVERSITY CLASS SCHEDULE	27
<i>Polyanskiy A.M.</i> PLM-SYSTEM FOR PROGRAMMER	30

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

<i>Vudvud E.R., Dzhevetskaya E.V.</i> PUBLIC BUILDING ENERGY SURVEY ANALYSIS	36
<i>Gudkov A.G., Bezrukova A.I.</i> MODELING AND OPTIMIZATION OF WATER DISTRIBUTION NETWORK FOR CENTRAL DISTRICT IN SYKTYVKAR	39
<i>Ogorodov L.I., Shapkina V.A.</i> MECHANICAL CHARACTERISTICS OF LOW-DENSITY POLYETHYLENE UNDER TENSION AFTER MANY YEARS OF NATURAL AGING.....	44
<i>Pavlov M.V., Karpov D.F.</i> THERMAL BALANCE OF CULTIVATION FACILITY WITH COMBINED HEATING SYSTEM.....	47
<i>Solovyev S.A., Soloyveva A.A., Shevcov L.S.</i> EXPRESS ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS AND SLABS RELIABILITY AFTER FIRE IMPACTS WITH LIMITED STATISTICAL DATA	51

MECHANICAL ENGINEERING

<i>Avaev A.A.</i> ELASTOMER VULCANIZATION PROCESS OPTIMIZATION IN METAL – ELASTOMER SYSTEM	56
<i>Kuleva N.I., Stepanov A.S., Starostin A.V.</i> PLACE OF QUALITOLOGY IN QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES	59
<i>Popov I.P.</i> MECHANICAL REACTIVE INERTIAL POWER IN MECHANICAL SYSTEMS	63
<i>Pustovetov M. Yu.</i> IMPROVING DESIGN OF BOAT POWER UNIT TO ENSURE FUNCTIONAL REDUNDANCY IN CONDITIONS OF LIMITED RESOURCES.....	66
<i>Frolov A.A., Stepanov A.S., Frolov S.A.</i> STUDY OF ANTI-SKID SPIKES RETENTION DURABILITY IN CAR TIRE TREAD	70
<i>Ianiak S.V., Komissarova I.I.</i> CUTTING PROPERTIES OF HARD ALLOYS BASED ON TITANIUM CARBIDE WITH IRON-MOLYBDENUM BOND	74
<i>Information about the authors</i>	83



И.А. Андрианов, А.В. Ржеуцкий, С.Ю. Ржеуцкая
Вологодский государственный университет

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРУДНОСТИ УЧЕБНЫХ ЗАДАНИЙ В АДАПТИВНОЙ СРЕДЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ

В статье решается задача автоматического индивидуального подбора учебных заданий в системе электронного обучения на основе прогнозирования их трудности с учетом подготовленности обучающегося. Исследуются возможности обучаемых моделей нейронных сетей и деревьев решений, приводятся результаты эксперимента на реальных данных.

Адаптивное обучение, прогнозирование трудности учебных заданий, автоматический подбор учебных заданий.

Применение интеллектуальных технологий Educational Data Mining (EDM) в средствах электронного обучения позволяет существенно повысить их адаптивность. В данной статье представлен один из возможных подходов к решению задачи автоматического индивидуального подбора учебных заданий, выполнение которых будет иметь наилучший обучающий эффект.

Обучение любой дисциплине, как правило, включает лекции, практические занятия, а также самостоятельную работу студентов. В рамках аудиторного лекционного курса все обучающиеся получают одинаковый образовательный контент. Для того чтобы каждый студент получил наилучший результат обучения, необходимо разумно организовать практические занятия и самостоятельную работу, используя интеллектуальные функции системы электронного обучения. По мнению авторов, одной из таких функций является рациональный индивидуальный подбор учебных заданий, предназначенных для самостоятельного выполнения студентами.

Для большинства заданий, размещенных в системе электронного обучения, имеется возможность автоматической проверки их решений с фиксацией результатов в базе данных. В отличие от контрольных заданий, для учебных заданий количество попыток их отправки на автоматическую проверку не ограничено, как и время их выполнения. Однако каждая попытка сдачи решения студентом отдельно фиксируется в системе, данные, по которым можно оценить время выполнения задания, также собираются.

Количество имеющихся в системе заданий, как правило, избыточно для студента. Например, в образовательной среде Вологодского государственного университета, предназначенной для подготовки ИТ-специалистов, имеется около 2000 задач по программированию, решения которых проверяются ав-

томатически, и еще больше тестовых заданий по различным дисциплинам [6]. При таком количестве учебных заданий задача их рационального подбора с учетом индивидуальных особенностей студентов требует компьютерной поддержки. Конечно, результаты автоматического подбора имеют характер рекомендаций, а окончательное решение по выбору заданий принимается преподавателем и студентом.

Постановка задачи представлена в виде схемы на рисунке 1.

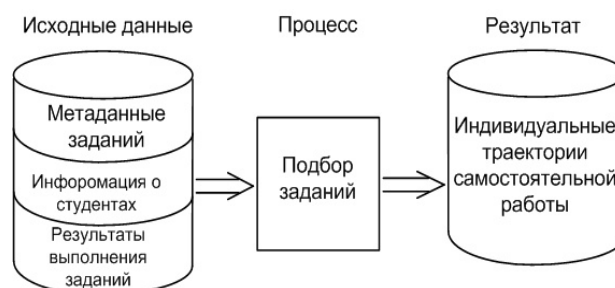


Рис. 1. Постановка задачи автоматического подбора заданий

Исходными данными для решения этой задачи являются множество данных, имеющихся в среде электронного обучения, которые представляют интерес для анализа в процессе подбора заданий. Некоторые данные фиксируются в системе при занесении нового задания или регистрации нового обучающегося, но большая их часть накапливается в процессе обучения. Результатом подбора являются последовательности учебных заданий по каждой теме, подобранные индивидуально для каждого студента. Назовем их индивидуальными траекториями самостоятельной работы.

Индивидуальные траектории формируются в соответствии с принципом разумного возрастания трудности заданий для студента. При этом слишком легкие и слишком трудные для конкретного студента задания должны отсутствовать в его индивидуальной траектории. Опыт авторов показывает, что начинать освоение навыков по каждой теме следует с 2–3 относительно нетрудных для студента заданий, затем тренироваться на заданиях средней сложности. После этого следует предложить студенту несколько трудных заданий, с которыми он в состоянии справиться, приложив усилия.

Для реализации этих разумных принципов формирования индивидуальной траектории требуется решить задачу прогнозирования трудности задания для студента с учетом его подготовленности, основываясь на данных, накопленных в системе электронного обучения. Задача педагогического прогнозирования относится к направлению EDM. Рассмотрим основные подходы к ее решению.

При занесении учебного задания в систему электронного обучения обычно задаются некоторые метаданные задания, одним из них является трудность задания. Как правило, трудность оценивает преподаватель-эксперт, который разработал это задание, в соответствии с принятой системой баллов, поэтому такая оценка трудности называется экспертной.

Преподаватель-эксперт оценивает трудность задания, ориентируясь на свой алгоритм выполнения этого задания и «среднего» студента. Однако реальную трудность учебного задания можно оценить только после того, как это задание выполнила группа обучающихся. Назовем оценки трудности, полученные по результатам выполнения задания, эмпирическими (статистическими) оценками.

Наиболее распространенной является эмпирическая оценка трудности как доли обучающихся, выполнивших (или не выполнивших) задание по отношению к общему количеству выполнявших это задание. Обычно такая оценка выражается в процентах и может считаться объективной характеристикой задания при условии, что количество выполнявших задание студентов достаточно велико для получения достоверной оценки.

С учетом специфики учебных заданий можно предложить дополнительные эмпирические оценки трудности заданий. По мнению авторов, объективной характеристикой трудности учебного задания, которую можно точно вычислить на основании имеющихся данных системы автоматической проверки, является среднее количество попыток сдать задание, прежде чем система приняла его как верное. Если учебное задание представляет собой обучающий тест, то для него задается пороговый балл, при котором система засчитывает тест как пройденный, – количество попыток пройти тест также легко вычислить.

Параметры, позволяющие судить о времени выполнения задания (интервал времени от момента открытия задания до его принятия системой автоматической проверки, возможно, интервалы времени между попытками сдать задание) также характеризи-

руют трудность этого задания, но их не всегда можно вычислить точно, поскольку в процессе выполнения задания студент может отвлекаться. Тем не менее в большинстве случаев эти параметры хорошо коррелируются с реальной трудностью задания.

Все перечисленные эмпирические оценки трудности заданий могут автоматически пересчитываться по мере накопления статистики выполнения заданий, при этом точность оценивания повышается.

Наш опыт показал, что экспертная оценка трудности учебных заданий далеко не идеально совпадает с эмпирическими данными, хотя и резкое различие между ними встречается довольно редко. Часто эмпирические оценки позволяют немного откорректировать выставленную ранее экспертную оценку трудности. В момент появления задания в системе при отсутствии статистических данных о выполнении задания в качестве меры трудности может быть использована только экспертная оценка.

Вернемся к вопросу прогнозирования трудности задания для конкретного студента в процессе подбора заданий для адаптивного обучения. Один из хорошо проработанных способов решения задачи прогнозирования трудности заданий представлен в теории тестирования, известной под названием Item Response Theory – IRT [5]. Согласно теории IRT, прогнозируемая трудность задания для студента оценивается как вероятность успешного выполнения студентом этого задания и является действительным числом в интервале (0–1). Такая интерпретация позволяет создавать качественные диагностические тесты, в которых задания упорядочены по возрастанию трудности.

В некоторых публикациях [1, 2] прогнозная модель на основе подсчета вероятности правильного выполнения задания развивается применительно к подбору учебных заданий в процессе адаптивного обучения. Однако в процессе практической реализации этих моделей в реальной среде электронного обучения выявились их недостатки, которые не позволили получить приемлемое качество прогноза трудности заданий.

Модель IRT была разработана в свое время для тестовых заданий с выбором одного правильного ответа из нескольких вариантов, поэтому в современных условиях она представляется чересчур упрощенной. Трудность задания в ней оценивается по доле ошибочных результатов при выполнении задания, а подготовленность студента – по доле правильно выполненных заданий от общего количества заданий. Упрощенный двухпараметрический подход не учитывает такие важные показатели трудности задания, как время его выполнения и количество попыток сдачи задания. Например, в дистанционном практикуме по программированию ВоГУ зафиксированы случаи, когда задачи сдавались упорными студентами с тридцатой и даже сороковой попытки, при этом решались много дней. С точки зрения моделей, основанных на IRT, такие задачи равноценны по трудности задачам, сданным с первой попытки, – в обоих случаях фиксируется успешное выполнение задания. Аналогично обстоят дела и с подготовленностью студентов – некоторые из них могут намеренно решать много легких для себя

задач, чтобы повысить уровень подготовленности, вычисляемый системой по упрощенной формуле. Подчеркнем, что в системе электронного обучения имеется огромное количество статистических данных, которые могли бы уточнить результат прогноза, но выходят за рамки IRT.

Проблема возникла и с интерпретацией результатов прогноза. Как связана вероятность выполнения задания студентом с обучающим эффектом этого задания? Как адекватно оценить качество прогноза? Путь решения проблемы предложен в работах М.Б. Челышковой и В.С. Клопченко. Суть его заключается в переходе от непрерывной шкалы оценки трудности задания к дискретной. Для этого предлагается разбить весь интервал значений вероятности p на несколько подинтервалов, каждому из которых может быть поставлен в соответствие определенный уровень трудности. Например, можно выделить пять уровней, соответствующих общепринятым понятиям о трудности заданий:

1. ($0,8 \leq p < 1$) – задание слишком легкое для обучающегося.
2. ($0,6 \leq p < 0,8$) – задание невысокой трудности.
3. ($0,4 \leq p < 0,6$) – задание средней трудности.
4. ($0,2 \leq p < 0,4$) – задание повышенной трудности.
5. ($0 < p < 0,2$) – задание слишком трудное.

Количество уровней трудности (шаг дискретизации значений вероятности) не имеет принципиального значения, важна сама идея представления результата прогноза в виде интерпретируемого значения, которое может быть напрямую использовано в процессе подбора заданий. В развитие этой идеи в данном исследовании предлагается альтернативный подход к прогнозированию трудности учебных заданий.

Предлагаемый авторами способ состоит в том, чтобы решать задачу прогнозирования трудности задания для студента как задачу классификации пар «студент – задание» [5]. Результатом прогноза будет отнесение каждой пары к определенному классу трудности задания для студента на основе множества признаков, которые можно получить из системы электронного обучения. Множество классов может содержать, например, пять элементов, значения которых соответствуют приведенным выше пяти уровням трудности.

Задача автоматической классификации относится к задачам машинного обучения «с учителем», т.е. с использованием обучающей выборки [3]. Методы классификации используются и для анализа образовательных данных, часто они преследуют цель прогнозирования результатов обучения. Например, в [4] представлено решение задачи прогноза успеваемости на основе классификации студентов по множеству их признаков. Принципиальным отличием подхода авторов является расширение признакового пространства, которое должно включать характеристики и студента, и задания, а решение задачи должно выявить, насколько трудным является задание для студента.

Тем не менее представленная постановка задачи позволяет применить стандартный сценарий решения задачи машинного обучения (рис. 2).

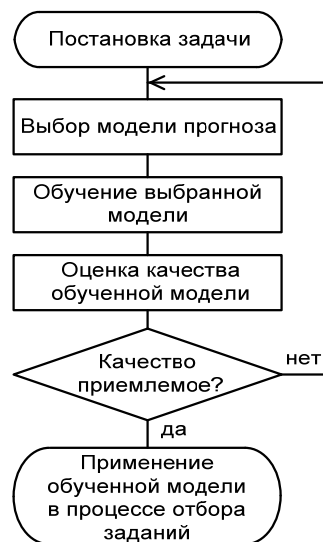


Рис. 2. Этапы решения задачи прогнозирования трудности заданий

Кратко поясним основные этапы.

Выбор модели прогноза на основе классификации требует внимательного анализа известных моделей, обзор которых представлен в [2, 4]. В данном исследовании эксперименты проводились с двумя существенно различными моделями – нейронными сетями и деревьями решений. Каждая из этих моделей имеет свои достоинства и недостатки применительно к решаемой задаче.

Нейросети – широко используемый, довольно точный, постоянно развивающийся способ классификации. Тем не менее, для задачи подбора учебных заданий представляет интерес и модель деревьев решений. Дерево решений представляет собой иерархически организованную систему правил «если..., то...», определяющую алгоритм принятия решения. Такая модель обладает рядом преимуществ:

- деревья решений в наглядной форме представляют правила прогноза на основе классификации, которые интересны сами по себе;
- модель деревьев решений обладает способностью отбора признаков, наиболее значимых в процессе классификации. Таким образом, предварительно можно отобрать избыточное множество признаков, а в процессе построения дерева решений малозначимые признаки будут отброшены.

По сравнению с нейронными сетями деревья решений на многих задачах показывают более низкую точность прогноза. Однако на начальном этапе проводимого исследования преимущества деревьев решений более важны, чем некоторое снижение точности.

Этап обучения модели классификации состоит в настройке параметров модели с использованием обучающей выборки. В ходе вычислительного эксперимента для формирования обучающей выборки использовались реальные данные системы электронного обучения студентов ИТ-направлений, в том числе результаты выполнения заданий, необходимые для обучения моделей. Далее будут представлены примеры обучения и использования прогнозных моделей.

Перед использованием обученной модели прогноза требуется оценить ее точность на экзаменационной выборке, содержащей такие прецеденты выполнения заданий, которые не были использованы в процессе обучения модели. Точность прогнозной модели определяется как процент совпадения результатов прогноза с фактическими данными. Для рассматриваемой задачи целесообразно дополнить эту оценку введением функции потерь [3], которая определяет величину штрафа за ошибку в зависимости от класса, в который попал прогноз. Штраф будет минимальным, если результат прогноза отнесен к соседнему, наиболее близкому, классу. По мере удаления результатов прогноза от фактических результатов величина штрафа возрастает.

Далее представим ход и результаты вычислительного эксперимента с использованием данных, накопленных в дистанционном практикуме по программированию с автоматической проверкой решений задач, который является частью среды обучения студентов ИТ-направлений ВоГУ и используется в учебном процессе более 15 лет. За это время накоплено огромное количество данных, которые можно использовать для анализа в процессе подбора задач и организации адаптивного обучения.

Предварительный этап эксперимента состоял в выделении множества классов и множества признаков с учетом специфики организации данных в практикуме. Для объективной проверки точности прогнозной модели требуется формально описать каждый из классов, чтобы полученное значение прогноза трудности заданий можно было однозначно сравнить с фактическими результатами выполнения заданий. В базе данных практикума фиксируется каждая попытка сдать задачу, при этом сохраняются данные о статусе решения (верно или неверно) и времени поступления решения задачи на проверку. Таким образом, при определении классов можно использовать такие критерии:

1) success – есть ли среди попыток сдать решение задачи хотя бы одна успешная;

2) cnt – количество попыток до принятия решения задачи системой автоматической проверки;

3) t – интервал времени в часах между первой и успешной попыткой.

Формальное определение выделенных нами классов представлено в таблице 1. Числовые параметры, определяющие количество попыток и время, легко настраиваются и всегда могут быть уточнены. Приведенные в таблице 1 значения установлены, исходя из опыта и здравого смысла.

Уточним исходные данные для классификации – признаки задачи и студента, которые мы выделили как значимые (табл. 2). Напомним, что при использовании модели деревьев решений из них будут автоматически отобраны наиболее важные.

Отметим, что динамические данные по задачам и результатам студентов в период активного обучения обновляются каждый день. Личностные качества определяются анкетированием и тестированием на добровольной основе – студенты охотно принимают участие в таких экспериментах.

Статистических данных о результатах решения задач в практикуме хватило и на обучающую, и на экзаменационную выборки по нескольким учебным курсам. Для обучения моделей использовался популярный пакет алгоритмов машинного обучения WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis), который поддерживает целую линейку различных моделей классификации, в том числе нейронные сети и деревья решений. Кроме того, в рамках студенческих ВКР было реализовано несколько программных продуктов на языках C++ и Python.

В ходе эксперимента было получено несколько вариантов деревьев решений, представляющих вполне разумные, но довольно объемные правила классификации. Как и следовало ожидать, самым важным признаком трудности задачи (корень дерева решений) оказался процент студентов, сумевших решить задачу. Заслуженно высокий приоритет оказался у признаков студента «мотивация», «процент успешно решенных задач», «средняя трудность решенных задач».

Таблица 1

Возможное определение классов трудности задач

№	Обозначение	Определение
1	Слишком легкое	success=true \wedge cnt=1
2	Легкое стартовое	success=true \wedge cnt=2 \wedge t \leq 1
3	Средней трудности	success=true \wedge (cnt=2 \wedge t>1 \vee cnt=3 \wedge t \leq 3)
4	Трудное, но в меру	success=true \wedge (cnt=3 \wedge t>3 \vee cnt>3 \wedge cnt \leq 6)
5	Слишком трудное	success=false \vee (success=true \wedge cnt>6)

Таблица 2

Признаковое пространство для решения задачи прогнозирования

Признаки задачи	Признаки студента
<p>Статические: раздел (тема), тренируемые навыки; экспертный уровень трудности; дата занесения задания в систему.</p> <p>Динамические: число студентов, решавших задачу; процент студентов, решивших задачу; среднее время с первой до успешной попытки; среднее число попыток до принятия решения</p>	<p>Результаты на данный момент: число задач, которые решались; процент принятых решений задач; среднее число попыток до принятия решения; средняя эмпирическая оценка трудности принятых решений.</p> <p>Личностные качества (при наличии данных): память, внимание, мотивация, ответственность</p>

Точность прогноза, оцененная как процент точного совпадения прогнозируемого и фактического класса трудности, в первых экспериментах оказалась довольно низкой у обеих классификационных моделей, но при анализе неверных результатов прогноза было обнаружено, что их подавляющее большинство попало в соседние классы. Например, если задача реально оказалась для студента легкой (допустим, быстро сдал, но со второй попытки), то результатом прогноза могло быть «слишком легкое» или «средней трудности», но как трудное для студента такое задание классифицировалось крайне редко. Таким образом, среднее значение штрафа за неверный прогноз оказалось минимальным. Заметим, что в решаемой задаче нечастое попадание в соседний класс не принесет особого вреда.

Существенного повышения точности прогноза удалось добиться путем сокращения количества классов трудности задачи до трех (легкая, средней трудности, трудная) и изъятия из обучающей выборки всех прецедентов, у которых зафиксирован высокий уровень плагиата (таких прецедентов использования студентами чужих решений, к сожалению, немало). В этом случае в некоторых экспериментах удалось довести точность до 78 % при минимальном значении штрафа. По результатам эксперимента уже можно сделать вывод о том, что более высокой точности прогноза для такой предметной области, как обучение, добиться очень трудно, скорее всего, невозможно.

Представленный способ прогнозирования трудности заданий пока используется в дистанционном практикуме в экспериментальном порядке, поэтому его влияние на результаты обучения оценивать рано. Разумеется, автоматический индивидуальный подбор заданий – только одна из интеллектуальных функций,

которые можно реализовать в среде электронного обучения для эффективной поддержки учебного процесса.

Литература

1. Andersen, P.-A. Adaptive task assignment in online learning environments / P.-A. Andersen, C. Krakevik, M. Goodwin, A. Yazidi // Proceedings of the 6th international conference on web intelligence, mining and semantics. – New York : ACM, 2016. – pp. 1–10.
2. Yazidi, A. Balanced difficulty task finder: an adaptive recommendation method for learning tasks based on the concept of state of flow / A. Yazidi, A. Mofrad, M. Goodwin, H. Hammer, E. Arntzen // Cognitive Neurodynamics. – 2019, 14. – pp. 675–687.
3. Бринк, Х. Машинное обучение / Х. Бринк, Дж. Ричардс, М. Феверолф. – Санкт-Петербург : Питер, 2017. – 336 с.
4. Котова, Е. Е. Прогнозирование успешности обучения в интегрированной образовательной среде с применением инструментов онлайн-аналитики / Е. Е. Котова // Компьютерные инструменты в образовании. – 2019. – № 4. – С. 55–80.
5. Ржеуцкая, С. Ю. Способ автоматического подбора учебно-тренировочных заданий в информационной среде обучения студентов ИТ-направлений / С. Ю. Ржеуцкая, М. В. Харина // Открытое образование. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 17–28.
6. Архитектура интеллектуального агентно-ориентированного учебного комплекса для подготовки специалистов технического профиля / А. Н. Швецов, С. Ю. Ржеуцкая, А. П. Сергушичева, А. А. Суконщиков // Открытое образование. – 2018. – 22 (3). – С. 14–24.

I.A. Andrianov, A.V. Rzhetskiy, S.Yu. Rzhetskaya
Vologda State University

PREDICTING DIFFICULTY OF TRAINING TASKS IN ADAPTIVE E-LEARNING ENVIRONMENT

The article solves the problem of automatic individual selection of training tasks in the e-learning system based on predicting their difficulty, taking into account the readiness of a student. The possibilities of the trained models of neural networks and decision trees are investigated, the results of the experiment on real data are presented.

Adaptive learning, predicting the difficulty of training tasks, automatic selection of training tasks.



ЦИФРОВОЕ ОКРУЖЕНИЕ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Технологическая трансформация предусматривает интеграцию средних и малых машиностроительных предприятий в единое поле виртуальных фабрик на основе стратегии перехода к цифровому производству в рамках национальных проектов и Национальной технологической инициативы. Динамичное окружение и обусловленные им вызовы предполагают необходимость быстрого принятия эффективных решений с целью сохранения конкурентоспособности в долгосрочной перспективе и способности к ускорению процессов адаптации. Эти изменения сопровождаются развитием принципиально новых бизнес-процессов на всех уровнях.

3D-прототип, цифровое сопровождение производства, информационная среда, малые предприятия.

Стратегия развития машиностроения опирается на тренд виртуальных производств, составной частью которых являются малые и средние предприятия. Эти вызовы определяют вектор развития отрасли, отвечая росту производительности труда, и нацелены на экономический рост и сохранение национального суверенитета. Единое информационное пространство технологических бизнес-процессов предприятий реализуется платформами САПР на базе CAD/CAPP/CAM/CAE/CAO-технологий. Связанное с системами PDM/PLM цифровое отображение свидетельствует о переходе предприятий к виртуальному типу производства и соединении материального и цифрового производств [1–3]. Цель работы – позиционирование малых машиностроительных предприятий в качестве участников виртуального производства, охваченного функционалом платформ PDM/PLM.

Наличие необходимых компетенций у участников проекта в области цифрового проектирования является условием функционирования новой бизнес-модели. Логистика взаимодействий внутри отдельных звеньев и между участниками определяется степенью их кооперации и уровнем интеграции с головным предприятием в рамках функционирования систем MES (ERP).

Концепция сквозного цифрового проектирования определяет возможность для персонализации и кастомизации продукции с помощью опций управления конфигурациями изделия. Платформы PDM/PLM реализуют этот функционал. Здесь формируется дерево изделия как объектная структура, связанная со всеми разделами проекта и технологическими процессами (ТП) изготовления. Выполнение заданий в едином информационном окружении технологических и конструкторских отделов является одним из запросов цифрового производства [4–7].

Инженерное взаимодействие CAD/CAPP/CAM/CAE/CAO-систем ориентировано на формирование виртуального предприятия путем создания общей информационной среды с целью получения доступа к современным способам и видам работ. Указанные технологии требуют постоянных преобразований в организации и культуре производства [1–3].

Пример применения CAD-технологий показан на рисунке 1 как электронный образ механизма выверки визира из комплекта мехатронного прибора. Для визуализации сборочной единицы или изделия используются цветовые гаммы, оптические свойства (прозрачность) и различные текстуры, чем достигается эффект фотореалистичности. Функция CAD-платформы имеет режим разнесения сборочных единиц на детали, а отдельные узлы, входящие в состав сборки, могут быть представлены как одним элементом, так и поддетально. Наглядность достигается путем создания требуемых сечений и разрезов. Чтобы представить состав конструкции в целом, оформляется электронный каталог изделия. Командная работа группы конструкторов и расчетного подразделения, в условиях жестких требований к конфигурации и геометрии изделия, позволяет в многовариантном поиске достичь приемлемого решения и найти компромисс.

Проектирование технологических маршрутов в САПР ТП – следующая ступень подготовительного периода. К задачам автоматизированного технологического сопровождения производства относятся определение методов и способов обработки деталей (рис. 2), выполнение требований технологичности изготовления изделия и сборки конструкции [4–10]. CAPP-платформа с поддержкой нормативно-справочных баз обеспечивает технологическое сопровождение и дигитализацию документооборота. Этот процесс начинается от момента получения задания на проектирование, продолжается при управлении технологическими изменениями и оформлением заявок на разработку средств технического оснащения. Сюда включаются разделы по проектированию управляющих программ для ЧПУ и этап сдачи задания.

Поддержка технологической подготовки производства обеспечивается наличием многопрофильных, структурированных баз данных [4]. Их накопление и пополнение с целью привязки к конкретному предприятию происходит непосредственно в процессе работы. Распределение ролей для участников проекта с соответствующим уровнем доступа позволяет осуществить первый уровень защиты от несанкционированного доступа.

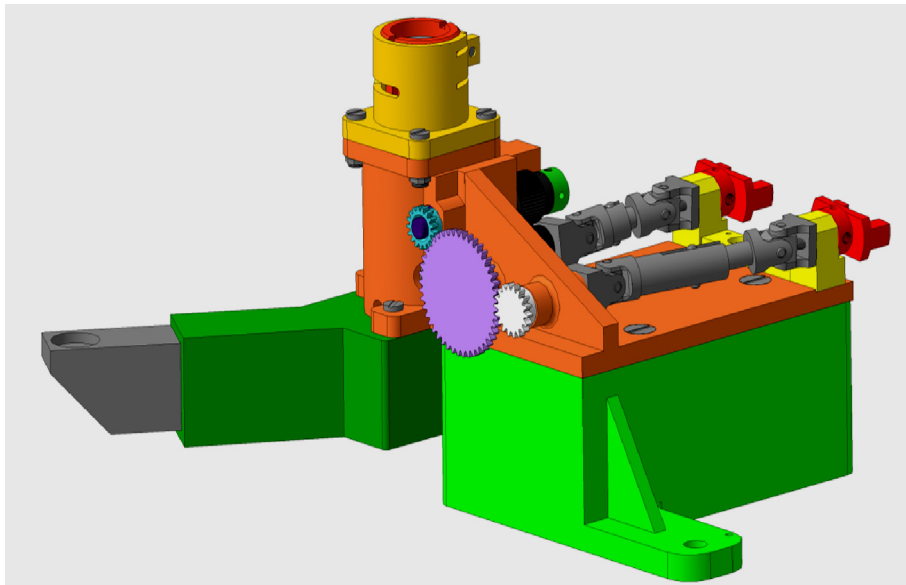


Рис. 1. 3D-прототип под сборки механизма визира мехатронного прибора

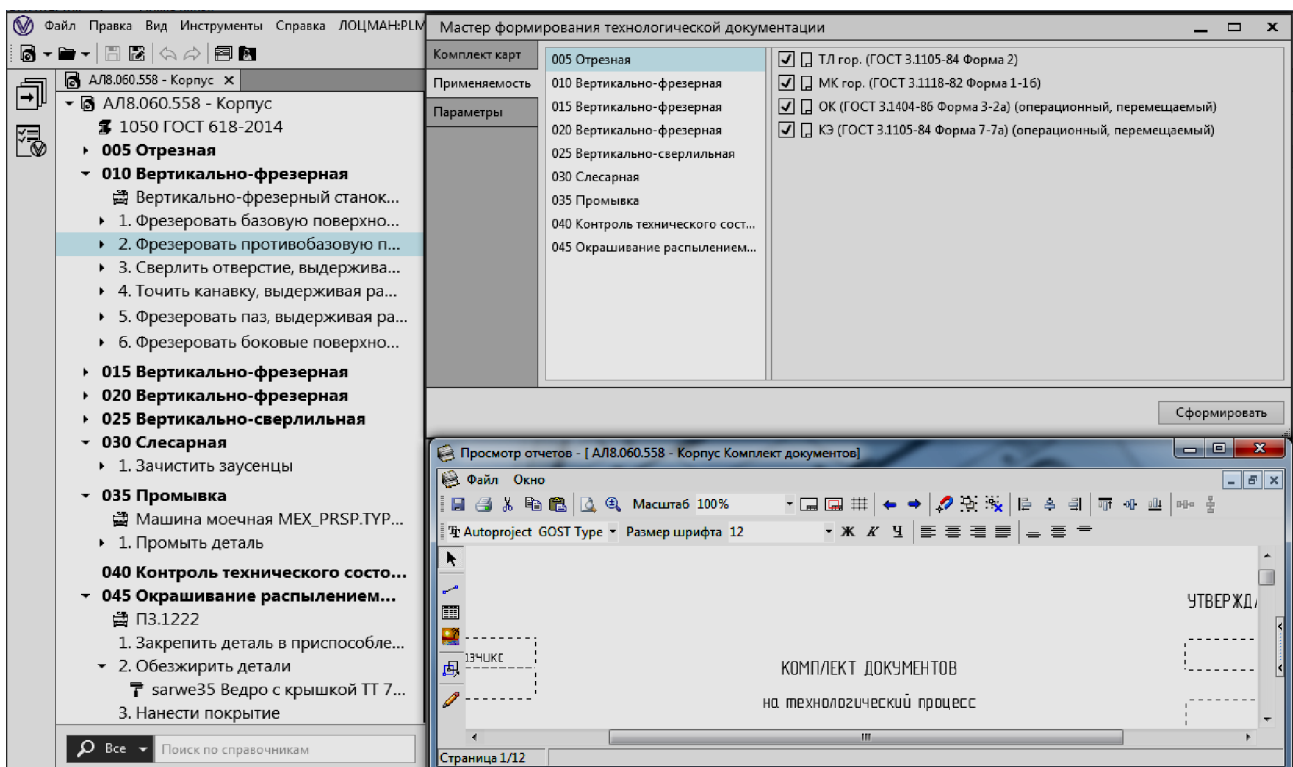


Рис. 2. Фрагмент формирования пакета технологической документации

САПР ТП обеспечивает: многовариантность при проектировании ТП; выбор станочного парка, инструментария, оснастки, приспособлений, универсальных и специализированных измерительных средств; расчет режимов металло- и термообработки, гальваники, лакокраски, сборки, сварки; расчет себестоимости, нормирование материальных и трудовых затрат; создание комплекта технологических документов. САПР-платформа построена на принципах коллективного инжиниринга комплексных проектов в реальном времени. Для созданных объектов реализована ассоциированная связь атрибутов ТП с параметрами графических материалов САД-приложения: эскизов и чертежей.

Все изменения атрибутов в графических материалах приводят к модификациям связанных параметров ТП.

На принципе многоуровневой структуры из операций и переходов, оборудования и оснастки, а также необходимых технологических объектов строится дерево ТП. В ходе разработки ТП детали/сборочной единицы формируется структурированная информация с различными уровнями, где отображаются все основные элементы ТП: данные об изделии (3D-модель, чертежи, спецификации и др.), маршруты обработки и выполнения операции. Это обстоятельство позволяет быстро комбинировать объекты ТП, реализуя требуемую технологию обработки детали/сборочной

единицы, электронных моделей изделий. В ходе ТП определяются численность и состав персонала, требования к его квалификации, а также указываются сопровождающие атрибуты, необходимые для достижения планируемых производственных показателей [6, 8–10]. Это дает возможность организовать эффективный инструментальный контроль на всех этапах изготовления.

В функционал САРР-платформы входит осуществление сопровождения и управления требованиями и изменениями актуальности технологической информации, поиск информации для локализации в документации по итоговым формам. Комплект документов о проекте включает в себя как данные по отдельным ТП изделий, так и сводную технологическую отчетность по всем частям проекта. В его состав входят различные ведомости, специфицированные нормы расхода материалов и технологические маршруты.

Непрерывный поток инженерных данных, формируемых в системах САД/САРР/САМ/САЕ/САО, выступает как результат дигитализации отдельных информационных полей и объединения их в единое цифровое пространство. Технологии и алгоритмы функционирования внутри платформ и взаимодействие между ними определяются как интеллектуализация производственной деятельности. Таким образом, под термином «интеллектуализация производства» в широком смысле понимают использование элементов искусственного интеллекта и переход в перспективе на уровень киберфизических систем [1, 2].

К элементам искусственного интеллекта относятся предиктор-корректорная аналитика экспертных систем (на основе концепции BIG DATA), методы компьютерной и вычислительной геометрии, дискретной дифференциальной геометрии, алгоритмы оптимизации и решения нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, эвристические подходы, основанные на интеллектуальном поиске стратегий решения.

Инженерный и технологический разделы непрерывно дополняются приложениями и предоставляют в релизах новые комплексы расширенного интегрированного инструментария, увеличивая спектр возможностей. Такое направление следует рассматривать как тенденцию по интеллектуализации программного обеспечения и продолжение политики импортозамещения. В узком смысле понятие «интеллектуализация производства» определяет перечень компетенций, необходимых для участия в современном производстве. Это может быть реализовано только при наличии высококвалифицированных сотрудников, что, в свою очередь, ставит задачи их обучения и подготовки в специализированных учебных центрах.

Передача информации о выполненной работе для продолжения бизнес-процесса осуществляется через сетевое взаимодействие или средства PDM/MES (PLM/ERP) в зависимости от уровня организации и численности предприятия. Интеграция этих стратегий концентрирует все инженерные данные о проекте через инструментальное обеспечение и информационную систему управления производством в единый цифровой поток.

Как организационно-техническая система PDM обеспечивает управленческий сектор информацией о продуктах предприятия, взаимодействие подразделений и доступ к результатам на всех циклах разработки/изготовления. К ключевым функциям модуля системы PDM относится управление: документацией САРР и архивацией; инженерными решениями, графическими объектами; номенклатурой продуктов; клиентскими заказами и логистикой и т.д. [9, 10].

Средства управления производством MES позиционируются как оперативно-календарная система внутрицехового планирования, диспетчеризации, контроля и учета межоперационных заделов, т.е. фокусируются на текущих вопросах координации производства. Оперирова актуальными данными о производственных процессах, средства управления производством MES позволяют скорректировать производственное задание и текущую информацию в реальном времени (неоднократно за рабочую смену).

MES-инструментарий ориентирован на управление и контроль мелкосерийного, единичного и позаканного производства в реальном времени. Для серийного и массового производства планирование целесообразно вести на уровне возможностей ERP-систем. Роль MES – связующее звено между управлением ТП и ERP-системой.

Более комплексный функционал обеспечивают PLM-системы, включающие в себя PDM как подуровень. Помимо опций управления изделиями PLM-системы предоставляют дополнительные модули контроля финансами, персоналом и другими возможностями. В систему сопровождения жизненного цикла входят следующие блоки: исследования рынка; транзакционных операций; проектирования и планирования создания продуктов; закупки комплектующих и выходного/входного контроля; упаковки, хранения, продаж и утилизации; технического, информационного и эксплуатационного обеспечения; взаимодействия и интеграции различных систем в единое информационное окружение.

Использование функционала PLM/ERP актуально для предприятий машиностроения с большой степенью кооперации и с территориально удаленными подразделениями (поставщиками). Цель – масштабирование решений, выстраивание логистики сотрудничества и комплексное уменьшение издержек. Функционал платформ PLM/ERP способен отслеживать единичные экземпляры продукции и учитывать индивидуальные требования. Если система PLM координирует взаимодействие структурных подразделений и механизмы согласований, извещений и утверждений, то система ERP нацелена на исполнение заказов, средне- и долгосрочное планирование. В состав функций системы входят все функции MRP II, модули планирования и моделирования финансов и маркетингового обеспечения, управления производством и поставками, ресурсами и потребностями. Отдельные модули ориентированы на специализированные сферы деятельности или конкретный бизнес-процесс [9, 10].

Подведем итоги:

1. Виртуальная кооперация конструкторских и технологических подразделений дает возможность объединить процедуры автоматизированного проектирования CAD/CAM/CAPP/CAE/CAO со средствами управления производством PDM/MES и выстроить логистику их взаимодействия.

2. Внутренний контур управления PDM/MES позволяет контролировать производственный процесс в реальном времени и выработать обоснованные решения в условиях быстроменяющейся конъюнктуры.

3. К функциям внешнего контура PLM/ERP относится обеспечение логистики и устойчивости управления всей цепочки распределенных подразделений, в состав которых входят и малые предприятия.

4. Наличие цифрового отображения выводит на новую ступень содержание подготовки и управления производством, требуя передовых технологий при переходе на наукоемкие и высокотехнологичные виды продукции.

Литература

1. Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии. – Москва : Московская школа управления Сколково, 2017. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf (дата обращения: 07.12.2020). – Текст : электронный.

2. Боровков, А. О дорожной карте «Технет» (передовые производственные технологии) национальной технологической инициативы / А. Боровков, Ю. Рябов. – Трамплин к успеху. – 2017. – № 10. – С. 8–11.

3. Concomitant digitalization effect. Measuring the real impact of the digital economy. In: Presentation by Huawei and Oxford Economics / Xu W., Cooper A., et al. – 2017. – URL: https://www.huawei.com/minisite/gci/en/digital-spillover/files/gci_digital_spillover.pdf. – Text : electronic.

4. Булавин, В. Ф. Политика цифровых технологий на малых машиностроительных предприятиях / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев, А. С. Степанов – doi <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2019-9-35-45> // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2019. – № 9. – С. 35–45.

5. Цифровой формат подготовки приборостроительного производства. Ч. I. Конструкторский этап / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев и др. – doi <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2020-63-3-242-249> // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 3. – С. 242–249.

6. Цифровой формат подготовки приборостроительного производства. Ч. II. Технологический этап / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев и др. – doi <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2020-63-3-250-256> // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 3. – С. 250–256.

7. Трансформация технологического обеспечения малых предприятий машиностроения / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев // Цифровая экономика и индустрия 4.0: Форсайт Россия : сборник трудов науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург : Политех-Пресс, 2020, С. 28–40.

8. Digital design and technological innovation in the small machine building sector / Bulavin V. F., Bulavina T. G. et al. – doi <https://doi.org/10.1088/1757-899X/939/1/012016> // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – vol. 939. – art. 012016.

9. Bulavin, V. F. Digital space of small enterprises in engineering / V. F. Bulavin, T. G. Bulavina, A. S. Stepanov // Proc. ICIE 2020. – Springer, 2021. – PP. 462–468.

10. Digital support of production small business preparation in engineering / V. F. Bulavin, T. G. Bulavina, V. V. Yahrachev et al. – doi <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/3/033045> // J. Phys.: Conf. Ser. – 2019. – vol. 1399, no. 3. – art. 033045.

V.F. Bulavin, T.G. Bulavina
Vologda State University

DIGITAL ENVIRONMENT FOR SMALL BUSINESSES

The technological transformation provides for the integration of medium and small machine-building enterprises into a single field of virtual factories based on the strategy of transition to digital production within the framework of national projects and the National Technological Initiative. The dynamic environment and the challenges caused by it imply the need for rapid and effective decision-making in order to maintain competitiveness in the long term and the ability to accelerate adaptation processes. These changes are accompanied by the development of fundamentally new business processes at all levels.

3D prototype, digital support, technological support of production, information environment, small businesses.



АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ ЛИЦЕВЫХ БИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Статья посвящена анализу уязвимостей систем биометрической аутентификации пользователей информационных систем по изображению лица. Приведена классификация атак, а также определены меры противодействия различным типам атак.

Аутентификация, лицевая биометрия, несанкционированный доступ, атака спуфинга.

Современные системы аутентификации сложно представить без биометрических технологий. Такие системы могут использоваться для доступа в образовательные учреждения, при подтверждении электронных платежей, а также для доступа к интернет-банкингу.

Рядом биометрических компаний и исследовательских институтов разработаны системы биометрической аутентификации, использующие различные модальности: лицо, отпечаток пальца, сетчатку глаза, голос. Однако в результате их внедрения был выявлен ряд проблем, связанных с защищенностью от угроз безопасности системы.

Угрозы безопасности системы можно условно разделить на следующие типы [1]: угрозы нарушения целостности информации, угрозы нарушения конфиденциальности информации и угрозы нарушения работоспособности системы. В случае реализации угрозы нарушения целостности информации она может быть искажена или изменена, что может привести к нарушению качества информации или полному ее уничтожению. Угрозы нарушения конфиденциальности информации направлены на получение доступа лицам, доступ которым для нее закрыт или ограничен. Угрозы нарушения работоспособности системы ориентированы на снижение работоспособности информационной системы либо на блокировку доступа к некоторым ее ресурсам.

На основании методического документа, утвержденного ФСТЭК РФ 11 февраля 2014 г. [2], угрозы безопасности информации определяются по результатам оценки потенциала, оснащенности и мотивации внутренних и внешних нарушителей, анализа возможных уязвимостей системы, потенциальных способов реализации угроз безопасности информации и последствий от нарушения признаков безопасности информации (целостности, конфиденциальности, доступности).

Качество проводимых мероприятий, принимаемых для защиты информации в информационной системе, зависит от эффективности определения угроз безопасности информации для определенной информационной системы в определенных условиях ее функционирования.

Выбираемые для реализации в системе меры защиты информации должны гарантировать блокировку одной или нескольких угроз безопасности

информации, включенных в модель угроз безопасности информационной системы.

Нарушения целостности и конфиденциальности информации в целом, а также доступности и целостности отдельных компонентов информационной системы могут быть вызваны многообразными нарушениями. Одним из наиболее распространенных нарушений является несанкционированный доступ [3]. Угроза несанкционированного доступа на текущий момент несет одну из основных опасностей для безопасности информационной системы, т.к. злоумышленник может выполнить незаконное проникновение в информационную систему и получить возможность к реализации вышеприведенных угроз. Основной целью несанкционированного доступа является получение нарушителем доступа к системе в обход установленных в соответствии с принятой политикой безопасности правил разграничения доступа.

Из всех известных способов получения несанкционированного доступа следует обратить внимание на следующие наиболее распространенные: перехват аутентификационной информации, «маскарад», незаконное использование привилегий [3].

Перехват аутентификационной информации осуществляется с использованием специального программного обеспечения. Чаще всего программа-перехватчик имитирует прием аутентификационной информации таким образом, что пользователь самостоятельно передает ее злоумышленнику, полагая, что работает с реальной системой.

Для «маскарада» характерно присвоение полномочий и привилегий другого пользователя либо выполнение каких-либо действий другому пользователю. Например, «маскарадом» является передача сообщений от имени другого пользователя. Особенно опасно такое нарушение в системах электронных платежей, когда неверная аутентификация клиента может привести к большим убыткам для него.

При несанкционированном захвате привилегий злоумышленник может получить возможность выполнения определенных действий внутри системы, обходя систему защиты. Часто возможность осуществления такого способа появляется из-за халатности администратора при назначении привилегий либо при наличии ошибок в системе защиты.

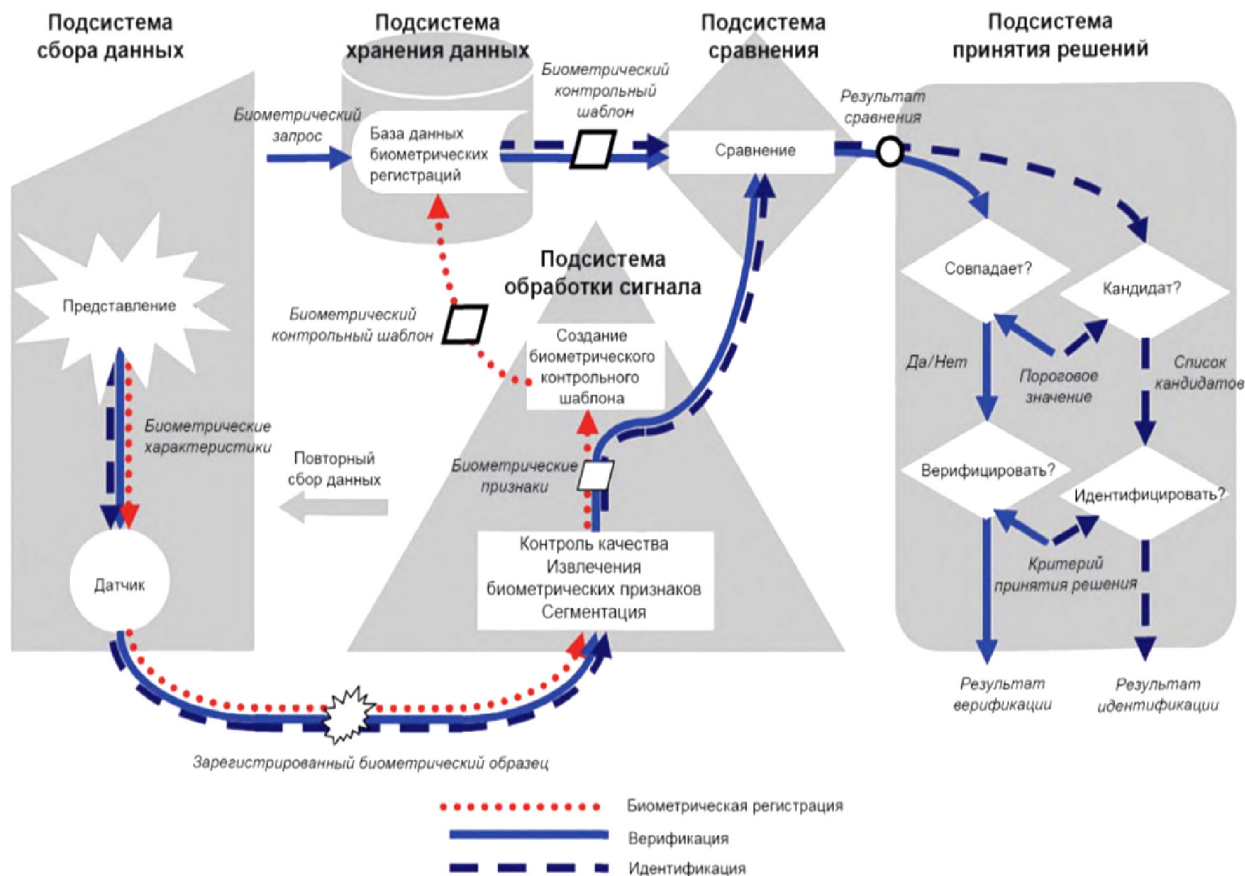


Рис. Компоненты биометрической системы общего вида

Каждый из этих способов получения несанкционированного доступа направлен на отдельные подсистемы информационной системы. Биометрическая информационная система состоит из подсистемы сбора данных, подсистемы хранения данных, подсистемы сравнения и подсистемы принятия решений. Обобщенная схема биометрической аутентификации показана на рисунке [4].

На каждый из этих компонентов могут быть осуществлены различные виды атак: атаки на канал связи, на базу данных, на захват данных, их обработку и принятие решения.

За исключением атаки на устройство ввода, все перечисленные атаки не относятся конкретно к лицевым биометрическим системам и являются общими для различных модальностей. Противодействие таким атакам осуществляется шифрованием канала передачи данных и применением цифрового кодирования. Атаки же на модуль ввода биометрической информации отличаются для различных модальностей, при этом этот компонент системы остается наиболее уязвимым, поскольку он подвержен атаке спуфинга [5] – попытке подмены биометрической характеристики путем представления сенсору поддельного объекта идентификации.

В лицевых биометрических системах неавторизованные клиенты (злоумышленники) могут произвести попытку обмана системы подменой изображения лица авторизованного пользователя видеозображением его лица или просто его фотографией. В настоящее

время исследователи фокусируются на вопросе противодействия таким атакам [6, 7], однако они пока преждевременно достаточно успешны.

Устойчивость систем лицевой биометрической аутентификации к спуфинг-атакам – одна из первоочередных задач для противодействия несанкционированному доступу к информационной системе.

При атаке спуфинга на лицевую биометрическую систему объект идентификации может быть подделан с использованием распечатанной фотографии, видеозаписи, показанной на экране монитора или мобильного телефона, а также с использованием трехмерной модели головы пользователя [8].

Самая дешевая и простая для реализации атака – атака с использованием распечатанной фотографии. При этом для имитации поведения человека злоумышленник может выполнить изгиб или поворот фотографии. Более серьезной угрозой является атака с использованием видеозаписи, т.к. имитация поведения человека осуществляется более реалистично. Трехмерная модель головы имеет больше пространственной информации о пользователе, однако при данном способе атаки сокращается количество физиологической информации о лице пользователя. Кроме того, трудно создать реалистичную трехмерную модель живого человека без его участия. Таким образом, наиболее распространенными способами подделки аутентификационной информации в лицевых биометрических системах остаются использование фотографии и видеозаписи человека.

Противодействие атаке спуфинга можно осуществлять как с помощью дополнительных датчиков, так и без них, используя только основной сенсор. Методы с использованием трехмерных сканеров и дополнительных датчиков [9–11] показывают высокую эффективность, однако их применение затруднено необходимостью использования специального оборудования.

Поэтому методы, использующие только основной сенсор биометрической системы, являются более предпочтительными, т.к. обладают свойством легкой интеграции в существующую систему, которая как правило оборудована только камерой. Для определения подделки в методах, не использующих специального оборудования, чаще всего анализируются характеристики действий пользователя, особенности движения трехмерных объектов, а также текстурные признаки [12].

Характеристики действий пользователя могут как требовать обратную связь от пользователя (например, улыбнуться или подмигнуть), так и не требовать конкретной активности пользователя, базируясь на независимых от внешних указаний действиях (например, регулярное моргание) [13, 14]. При этом анализ данных характеристик показывает высокое качество для атак с использованием фотографии или трехмерной модели головы пользователя. Однако данный подход в значительной степени зависит от определения контрольных точек лица и может дать большое число ложноотрицательных ответов.

При анализе особенностей движения трехмерных объектов основываются на том, что фотография как плоский объект генерирует иные паттерны движения, в отличие от трехмерного человеческого лица [15, 16]. Такой подход показывает высокое качество, но только в тех случаях, когда информации о движении достаточно, – ошибки могут возникать, например, при анализе изображений низкого качества.

Кроме того, методы, основывающиеся на анализе движения и действия, могут быть неэффективны при использовании видеозаписи пользователя информационной системы.

Анализ текстурных признаков направлен на выделение особенностей, не характерных для «живого» человека. Такие особенности могут возникать в процессе печати, их может генерировать структура бумаги и экран, на котором производится отображение, что позволяет отличить поддельное изображение от реального лица [17–19]. При этом такой подход не требует обратной связи от пользователя и прост в реализации.

Однако обнаружение таких особенностей может быть затруднено в некоторых случаях. Например, развитие дисплеев высокой четкости может привести к трудности в различении текстур реального человека и подделки за счет увеличения качества воспроизведения интенсивности цветов.

Следовательно, при разработке методов противодействия спуфинг-атакам на лицевую биометрическую систему следует более пристально обращать внимание на схему спуфинга, источником которого является воспроизведенная на экране с высоким разрешением видеозапись человеческого лица.

Таким образом, в данной работе описаны угрозы безопасности лицевой биометрической информационной системы. Показано, что устойчивость биометрической системы аутентификации пользователя по изображению лица к спуфинг-атаке (попытке подмены биометрической характеристики) является одной из основных задач для предотвращения несанкционированного доступа к информационной системе. Приведены примеры атак на считыватель биометрической информации, а также показаны способы противодействия такого типа атак.

Литература

1. Зежежда, Д. П. Как построить защищенную информационную систему / Д. П. Зежежда, А. М. Ивашко ; под ред. Д. П. Зежежды и В. В. Платонова. – Санкт-Петербург : Мир и семья, 1997. – 312 с.
2. Меры защиты информации в государственных информационных системах : методический документ ФСТЭК от 11 февраля 2014 г. – URL: <http://fstec.ru/component/attachments/download/675>. – Текст : электронный (дата обращения: 26.10.2021).
3. Романец, Ю. В. Защита информации в компьютерных системах и сетях / Ю. В. Романец, П. А. Тимофеев, В. Ф. Шаньгин. – Москва : Радио и связь, 2001. – 376 с.
4. ГОСТ ISO/IEC 19794-1-2015. Информационные технологии. Биометрия. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 1. Структура. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200129505>. – Текст : электронный (дата обращения: 26.10.2021).
5. Matsumoto, T. Impact of Artificial "Gummy" Fingers on Fingerprint Systems / Matsumoto, T. // *Optical Security and Counterfeit*. – 2002. – Vol. 4677, № IV. – P. 275–289.
6. A Survey on Anti-Spoofing Methods for Facial Recognition with RGB Cameras of Generic Consumer Devices / Z. Ming, M. Visani, M. M. Luqman, J. C. Burie // *Journal of Imaging*. – 2020. – Т. 6, № 12. – P. 139.
7. Raheem, E. A. Insight on face liveness detection: A systematic literature review / E. A. Raheem, S. M. S. Ahmad, W. A. W. Adnan // *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708). – 2019. – Т. 9, № 6.
8. Pan, G. Liveness detection for face recognition / G. Pan, Z. Wu, L. Sun // *INTECH Open Access Publisher*. – 2008. – P. 109–124.
9. Liveness detection based on 3D face shape analysis / A. Lagorio, M. Tisterelli, M. Cadoni et al. // *Biometrics and Forensics (IWBF) 2013 International Workshop on*. – 2013. – P. 1–4.
10. Albakri, G. The effectiveness of depth data in liveness face authentication using 3D sensor cameras / G. Albakri, S. Alghowinem // *Sensors*. – 2019. – Т. 19, № 8. – P. 1928.
11. Костылев, Н. М. Модуль определения витальности лица по спектральным характеристикам отражения кожи человека / Н. М. Костылев, А. В. Горевой // *Инженерный журнал: наука и инновации*. – 2013. – № 9 (21). – С. 47.
12. Chakarborty, S. An overview of face liveness detection / S. Chakarborty, D. Das // *In International Journal on Information Theory*. – 2014. – №. 3 (2). – P. 11–25.

13. Jee, Hyung-Keun. Liveness Detection for Embedded Face Recognition System / Hyung-Keun Jee, Sung-Uk Jung, Jang-Hee Yoo // Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2006. – Vol. 18. – P. 29–32.
14. Singh, A. K. Face recognition with liveness detection using eye and mouth movement / A. K. Singh, P. Joshi, G. C. Nandi // 2014 International Conference on Signal Propagation and Computer Technology (ICSPCT 2014). – IEEE, 2014. – P. 592–597.
15. Bao, W. A liveness detection method for face recognition based on optical flow field / W. Bao, H. Li, W. Jiang // In. Proceedings of the 2009 International Conference of Image Analysis and Signal Processing, Tiazhou, China. – P. 233–236.
16. Yin, W. A face anti-spoofing method based on optical flow field / W. Yin, Y. Ming L. Tian // 2016 IEEE 13th International Conference on Signal Processing (ICSP). – IEEE, 2016. – P. 1333–1337.
17. Face liveness detection: fusing colour texture feature and deep feature / F. M. Chen, C. Wen, K. Xie et al. // IET Biometrics. – 2019. – Т. 8. – №. 6. – P. 369–377.
18. Kavitha, P. Fuzzy local ternary pattern and skin texture properties based countermeasure against face spoofing in biometric systems / P. Kavitha, K. Vijaya // Computational Intelligence. – 2021. – Т. 37, №. 1. – P. 559–577.
19. Волкова, С. С. Применение сверточных нейронных сетей для решения задачи противодействия атаке спуфинга в системах лицевой биометрии / С. С. Волкова, Ю. Н. Матвеев Ю. Н. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 702–710.

S.S. Volkova
Vologda State University

VULNERABILITY ANALYSIS OF FACIAL BIOMETRIC SYSTEMS

The article is devoted to vulnerability analysis of facial authentication systems. A hierarchy of attack is provided and countermeasures techniques for different types of attacks are defined.

Authentication, facial biometric system, unauthorized access, spoofing-attack.



С.В. Дианов
 Вологодский научный центр Российской академии наук
А.Н. Швецов
 Вологодский государственный университет
Д.С. Дианов
 Вологодский научный центр Российской академии наук

АЛГОРИТМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ АКТИВНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 20-010-00852 А)

Статья посвящена вопросам моделирования медицинской активности населения территории. Представлен алгоритм ее определения исходя из демографических и социальных характеристик населения, основанный на нечетком выводе. Рассмотрены вопросы программной реализации алгоритма.

Нечеткий вывод, нейро-нечеткая сеть, агент-ориентированное моделирование, медицинская активность населения.

Рациональное распределение медицинских услуг имеет важное социально-экономическое значение. В современных условиях данную задачу невозможно решить без использования инструментария имитационного моделирования. При этом модель должна строиться на объективных предпосылках, реальных потребностях, мотивах и поведении граждан, что позволит использовать ее в практике управления и апробации альтернативных сценариев принятия решений и реализации региональной политики. Особенно органичным здесь видится использование агент-ориентированного подхода. В рамках процесса реализации агент-ориентированных моделей необходимо осуществить исследование и формализацию мотивов и поведенческих установок жителей территорий в их медицинской активности и выборе стратегий обращения в медицинские учреждения.

В основе большинства современных концепций описания поведения потребителей медицинских услуг лежит модель Рональда М. Андерсена [1]. Одним из ее важнейших компонентов является фактор потребности, определяющий выраженность потребности в медицинской помощи, измеряемой, как правило, с помощью профессиональной врачебной оценки состояния здоровья и переменных, характеризующих восприятие, осознание индивидом потребности в медицинской помощи. В число показателей, отражающих ощущения человека, обычно включаются: осознаваемый статус здоровья, оцениваемая индивидом способность к функционированию по ключевым видам деятельности, уровень беспокойства по поводу различных болезненных симптомов. Их роль в использовании медицинских услуг в значительной мере зависит от социально-статусных характеристик потребителя и общей системы его взглядов на здоровье. Анализ взаимосвязи характеристик, отражающих отношение к здоровью и болезни, дает возможность лучше понять, в каких ситуациях человек считает необходимым прибегнуть к медицинской помощи и непосредственно обращается в систему здравоохранения [2].

В вопросах сохранения здоровья каждый человек проявляет различную степень активности, что связано с влиянием разнообразных факторов. Особенную роль играют личностные факторы, к которым относятся пол, возраст, место проживания, образование, социальный статус и др. [3]. На основе комбинаций личностных факторов можно сформировать различные группы населения, имеющие в определенном смысле типовые поведенческие параметры, связанные с проявлением ими медицинской активности. Авторы предлагают использовать данный подход при определении степени медицинской активности агентов населения в агент-ориентированных моделях, обеспечивающих поддержку принятия решений по предоставлению медицинских услуг.

В реальной жизни достаточно сложно предугадать, какую степень активности в конкретном случае проявит человек. Поэтому при моделировании предлагается в качестве механизма ее определения использовать аппарат нечетких нейронных сетей [4]. Такая сеть может быть реализована как система нечеткого вывода типа Сугено нулевого порядка. Она имеет множество входных переменных P , соответствующих значениям параметров человека. Выход сети – переменная, определяющая активность человека с множеством значений $[0 \dots 1]$, где значение, близкое к 1, определяет высокую степень активности.

Сеть состоит из пяти слоев. Слой 1 определяет нечеткие термы входных параметров. Выходы узлов этого слоя представляют собой значения функции принадлежности при конкретных значениях входов. Каждый узел слоя является адаптивным с функцией принадлежности $\mu_{A_i}(P_j)$, где A_i – нечеткий терм, применяемый для лингвистической оценки переменной P_j .

Функцию принадлежности можно сформировать исходя из следующих соображений. Имеются две категории населения, достаточно стабильно проявляющие высокую и низкую степень активности. Имеется также часть населения региона, которая может не иметь четкого отношения к проявлению медицинской

активности. Можно предполагать, что они с определенной степенью вероятности могут в каждом конкретном случае вести себя либо активно, либо пассивно (нечеткий терм для определения возможности проявления активности состоит из набора {«Актив-

вен», «Может быть активен»}). Набор функций принадлежности, основанных на представленных выше рассуждениях, составленный исходя из набора выделенных личностных параметров, представлен в таблице 1.

Таблица 1

Функции принадлежности для параметров групп населения

Параметр	Значение параметра	Функция принадлежности	
		Активен	Может быть активен
Пол	мужской	$\mu_{A_{p1}}(P_j)$	$\mu_{A_{p2}}(P_j)$
	женский	$\mu_{A_{p3}}(P_j)$	$\mu_{A_{p4}}(P_j)$
Возраст (лет)	до 30	$\mu_{A_{v1}}(P_j)$	$\mu_{A_{v2}}(P_j)$
	от 31 до 50	$\mu_{A_{v3}}(P_j)$	$\mu_{A_{v4}}(P_j)$
	от 51	$\mu_{A_{v5}}(P_j)$	$\mu_{A_{v6}}(P_j)$
Место проживания	город	$\mu_{A_{m1}}(P_j)$	$\mu_{A_{m2}}(P_j)$
	село	$\mu_{A_{m3}}(P_j)$	$\mu_{A_{m4}}(P_j)$
Образование	неполное среднее, среднее	$\mu_{A_{o1}}(P_j)$	$\mu_{A_{o2}}(P_j)$
	среднее специальное, среднее техническое, незаконченное высшее	$\mu_{A_{o3}}(P_j)$	$\mu_{A_{o4}}(P_j)$
	высшее, послевузовское	$\mu_{A_{o5}}(P_j)$	$\mu_{A_{o6}}(P_j)$
Социальный статус	учащиеся	$\mu_{A_{s1}}(P_j)$	$\mu_{A_{s2}}(P_j)$
	работающие	$\mu_{A_{s3}}(P_j)$	$\mu_{A_{s4}}(P_j)$
	занятые домашним хозяйством	$\mu_{A_{s5}}(P_j)$	$\mu_{A_{s6}}(P_j)$
	пенсионеры	$\mu_{A_{s7}}(P_j)$	$\mu_{A_{s8}}(P_j)$
	прочие	$\mu_{A_{s9}}(P_j)$	$\mu_{A_{s10}}(P_j)$

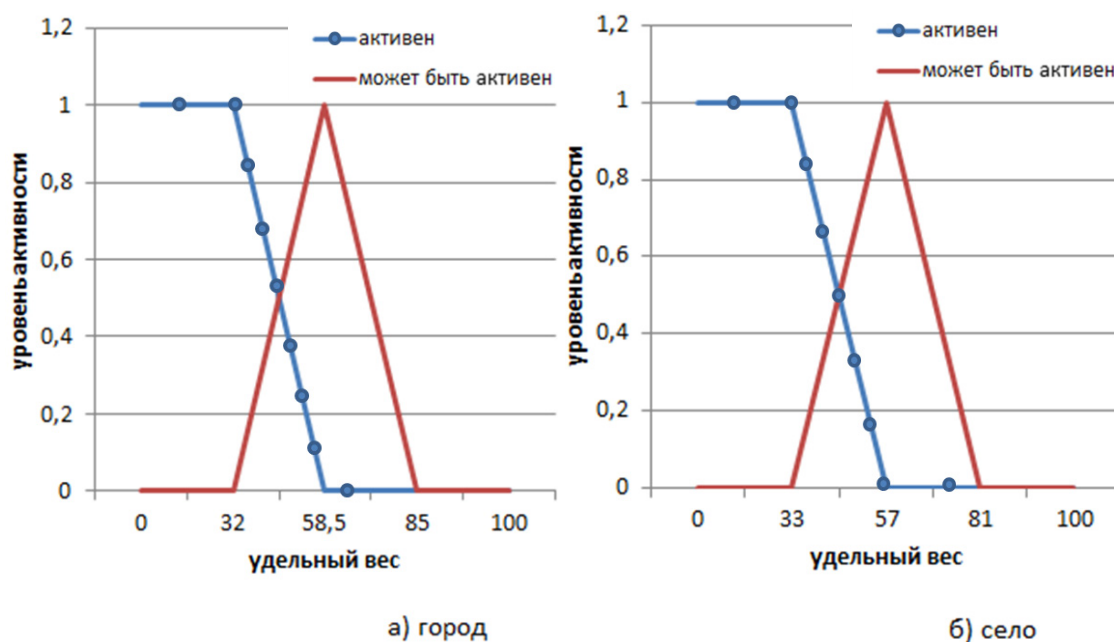


Рис. 1. Графики функции принадлежности параметра «Место проживания»

Каждая из функций принадлежности определяется исходя из предполагаемых пропорций населения территории (в процентном отношении) по степени активности (активен, может быть активен, не активен). Пример графического отображения функции принадлежности представлен на рисунке 1. График а) данного рисунка можно трактовать следующим образом: 32 % городского населения склонны проявлять высокую медицинскую активность, 15 % – низкую,

а оставшиеся 53 % могут проявлять как высокую, так и низкую степень активности.

Слой 2 определяет послылки нечетких правил. Данный слой – неадаптивный. Выполняет произведение входов. Выходными данными этого слоя являются степени истинности послылок правил (активности и возможной активности):

$$w_1 = \mu_{A_{pa}}(P_j) * \mu_{A_{va}}(P_j) * \mu_{A_{ma}}(P_j) * \mu_{A_{oa}}(P_j) * \mu_{A_{sa}}(P_j),$$

$$w_2 = \mu_{A_{pn}}(P_j) * \mu_{A_{vn}}(P_j) * \mu_{A_{mn}}(P_j) * \mu_{A_{on}}(P_j) * \mu_{A_{sn}}(P_j).$$

Каждый узел неадаптивного слоя 3 рассчитывает относительную степень выполнения нечеткого правила:

$$w_1^* = \frac{w_1}{w_1 + w_2}, \quad w_2^* = \frac{w_2}{w_1 + w_2}.$$

Адаптивные узлы слоя 4 рассчитывают вклад каждого нечеткого правила в выход сети по формулам:

$$A_1^C = w_1^* \cdot v_{k1}, \quad A_2^C = w_2^* \cdot v_{k2}.$$

Четкие числа v_{k1} , v_{k2} задают заключения каждого правила. Единственный узел слоя 5 суммирует вклады всех правил:

$$A^C = A_1^C + A_2^C.$$

Общий алгоритм вычисления медицинской активности агента в агент-ориентированной модели без учета текущего состояния, связанного со стадией заболевания, состоит из следующих этапов:

1. Исходя из общих параметров населения территории с определенной частотой генерируются агенты с конкретными значениями параметров (пол, возраст, место проживания, образование, социальный статус).

2. Выбирается функция принадлежности в зависимости от значений параметров рассматриваемого агента.

3. Определяется значение функции принадлежности. В качестве параметра при этом используется сгенерированное случайным образом число в диапазоне от 0 до 100.

4. Рассчитываются степени истинности посылок правил активности и возможной активности.

5. Вычисляется степень выполнения нечетких правил.

6. Рассчитываются вклады каждого нечеткого правила в выход сети.

7. Суммируются вклады всех правил.

Для корректной работы сеть потребует обучения, при котором настраиваются параметры адаптивных слоев (первого и четвертого). При этом следует учитывать, что способом формирования параметров является изучение ситуации, построенное на статистических данных, т.е. на информации, претендующей

на научность, точность и достоверность. Этот подход лежит в основе выработки управленческих решений в сфере здравоохранения [5]. Однако далеко не всегда имеется возможность получения реальной картины состояния здоровья населения региона вследствие чрезвычайной динамичности этой субстанции и технических возможностей современной медицины. В этом случае могут быть использованы результаты репрезентативных опросов населения. Так, при апробации представленного алгоритма в целях первоначального определения параметров функций принадлежности, авторами были использованы результаты опроса населения Вологодской области «Изучение здоровья населения и определяющих его факторов», проведенного Вологодским научным центром в 2020 году. В опросе участвовали 1500 человек из всех районов области. Медицинская активность рассматривалась через призму двух взаимно противоположных ответов на вопросы:

- Что Вы обычно делаете, когда чувствуете заметное ухудшение самочувствия? (Вариант «Терплю, не обращаюсь к врачам и не пытаюсь лечиться самостоятельно – пройдет само».) – Пассивные.

- Что Вы лично предпринимаете для сохранения и укрепления своего здоровья? (Вариант «Обращаюсь к врачу при первых признаках болезни, регулярно прохожу медицинский осмотр».) – Активные.

Пример полученных результатов по параметру «Пол» представлен в таблице 2.

Была осуществлена программная реализация представленного алгоритма в среде Microsoft Access и проведен ряд вычислительных экспериментов. В качестве исходных данных использовалась непосредственно база данных опроса. Это позволило иметь возможность сравнивать результаты моделирования с результатами опроса. Пример результатов одного из экспериментов представлен на рисунке 2. Здесь самый левый столбец – активность по результатам опроса, а самый правый – активность по результатам моделирования.

Таблица 2

Результаты расчета параметров функций принадлежности по параметру «Пол»

Параметр	Значение параметра	Всего	Активные		Пассивные		Неопределившиеся	
			Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%
Пол	мужской	670	176	26	169	25	325	49
	женский	830	311	37	72	9	447	54

v805 Активный	Возраст	Пол	Образование	Профессиональная сфера	Место проживания	SetActive
0	33	2	5	3	1	0
0	35	2	5	4	1	0
1	24	2	5	4	1	0
1	43	2	5	3	1	1
1	18	2	3	4	1	0
1	20	1	3	5	1	0
1	39	2	3	4	1	1
1	25	1	3	1	1	1
1	19	2	3	12	1	0
0	52	2	5	3	1	0

Рис. 2. Фрагмент базы данных с результатами вычислительного эксперимента по определению медицинской активности населения

Представленные в данной работе алгоритмы моделирования медицинской активности населения, основанные на использовании нечеткого вывода, являются новым научным результатом. Они могут быть востребованы властными структурами в процессах обеспечения поддержки принятия решений по развитию медицинской инфраструктуры территории, а также выработке мер по стимулированию медицинской активности населения территории.

Литература

1. Andersen, R. M. Behavioral Model of Families: Use of Health Services / R. M. Andersen. – Text : electronic // Research Series. – Chicago: Center for Health Administration Studies, University of Chicago, 1968, № 25. – URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/21/30> (accessed: 14.10.2021).
2. Русина, Н. Л. Доступ к услугам здравоохранения: методологические подходы и методы измерения /

Н. Л. Русина, Л. В. Панова // Журнал социологии и социальной антропологии. – 2002. – Т. V, № 4. – С. 147–163.

3. Решетников, А. В. Экономика здравоохранения / А. В. Решетников. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 192 с.

4. Madan, M. Gupta Fuzzy neural networks: theory and applications / M. Madan. – Text : electronic // Proc. SPIE 2353, Intelligent Robots and Computer Vision XIII: Algorithms and Computer Vision, 1994. – URL: doi.org/10.1117/12.188903 (accessed: 14.10.2021).

5. Современное состояние и пути развития отечественной медицинской статистики / Ю. В. Михайлова, С. А. Леонов, И. М. Сон [и др.]. – Текст : электронный // Социальные аспекты здоровья населения. – 2007. – № 1. – URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/21/30> (дата обращения: 14.10.2021).

S.V. Dianov

Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

A.N. Shvetsov

Vologda State University

D.S. Dianov

Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

ALGORITHM OF FUZZY INFERENCE FOR MODELING MEDICAL ACTIVITY OF POPULATION OF THE TERRITORY

The article is devoted to the issues of modeling the medical activity of the population of the territory. An algorithm for its determination based on the demographic and social characteristics of the population based on a fuzzy inference is presented. The issues of software implementation of the algorithm are considered.

Fuzzy inference, neuro-fuzzy network, agent-based modeling, medical activity of the population.



УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Статья посвящена управлению электромеханической системой с распределенными параметрами. Представлен метод построения замкнутой системы управления электромеханической системой с распределенными параметрами с использованием корректирующего устройства, находящегося в обратной связи. Приведена структурная схема предлагаемого метода. Рассчитана передаточная функция и представлено графическое изображение корректирующего устройства. Рассмотрены достоинства и недостатки полученной передаточной функции. Представлена ЛАЧХ системы с распределенными параметрами без дополнительного контура и с дополнительным контуром по пространственной координате. Проведен анализ полученного результата.

Система с распределенными параметрами, резонанс, корректирующее устройство, восстановление данных, гиперболическая тригонометрическая функция.

Различные объекты во многих областях техники представляют собой системы с распределенными параметрами (СРП). Это протяженные линии электропередач, трубопроводы и нефтепроводы, колонны труб при бурении, тросы или канаты в подъемных механизмах [1, 2].

Система уравнений, которая описывает СРП [1]:

$$\begin{cases} \rho(x) \frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} - E \cdot \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = f(x, t), \\ Q(x, 0) = Q_0(x), Q(L, t) = Q(L, 0), \\ \frac{\partial Q}{\partial t}(x, 0) = Q_1(x), \\ \frac{\partial Q}{\partial t}(x, 0) = \frac{\partial Q}{\partial t}(L, 0), \\ 0 \leq x \leq L, t \geq 0, \rho(x) \geq 0, E \geq 0, \end{cases}$$

где $\rho(x)$ – плотность объекта, кг/м³; E – линейный модуль упругости, Н/мм²; Q – смещение точки от положения равновесия, м; $f(x, t)$ – задающее воздействие.

В процессе работы постоянно изменяется переменная x , которая характеризует относительное положение рабочей массы (нагрузки).

Наибольшее влияние на работоспособность всей СРП оказывает изменение частоты первого резонанса, так как это приводит к изменению полосы пропускания электропривода, что требует изменения настроек системы управления двигателем.

Упругость таких объектов влияет на работу системы управления, что приводит к изменению стандартных настроек систем. Решением этой проблемы является использование корректирующего устройства [3–5].

Передаточные функции СРП обладают ярко выраженными резонансными свойствами, которые практически исключают возможность расширения полосы пропускания разомкнутой системы за пределы частоты первого резонанса с нерезонансным регулятором [6, 7].

Корректирующее устройство, работающее по принципу восстановления данных, позволяет построить замкнутую систему управления электромеханической СРП [8].

На рисунке 1 представлена блок-схема метода.

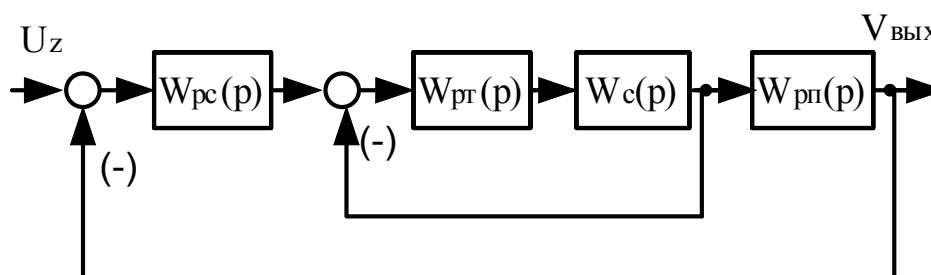


Рис. 1. Блок-схема метода:

U_z – сигнал задания (постановка действия); $W_{pc}(p)$ – регулятор скорости;
 $W_{pt}(p)$ – регулятор тока; $W_c(p)$ – часть электропривода с постоянными параметрами;
 $W_{mp}(p)$ – механическая часть электромеханической системы с распределенными параметрами

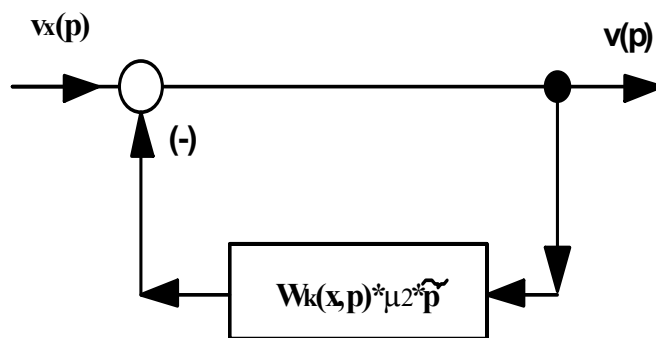


Рис. 2. Графическое изображение корректирующего устройства:
 $v_x(p)$ – скорость движения в любой точке; $v(p)$ – частота вращения вала двигателя;
 $W_k(x,p)$ – вспомогательная передаточная функция; μ_2 – относительная масса груза;
 \tilde{p} – нормированный оператор Лапласа

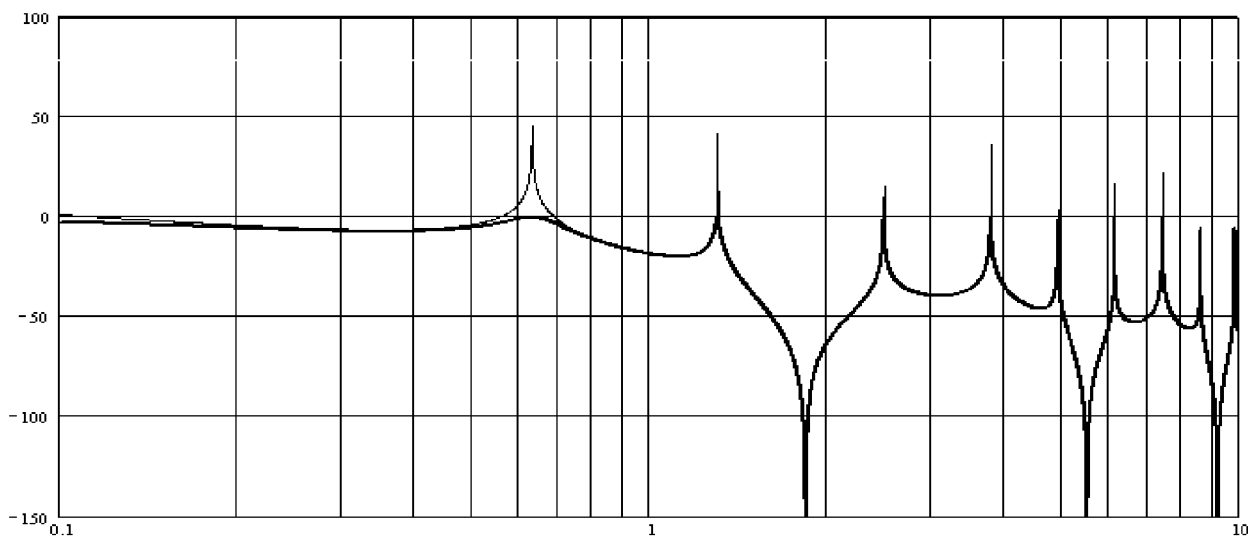


Рис. 3. ЛАЧХ распределенной системы:
тонкой линией показана ЛАЧХ системы без дополнительной обратной связи;
толстой линией – ЛАЧХ системы с дополнительной обратной связью

Поскольку механическая часть имеет большие геометрические размеры, напрямую измерить скорость рабочей массы (нагрузки) затруднительно. Такая возможность существует при использовании корректирующего устройства, работающего по принципу восстановления данных.

На основании передаточных функций, которые определяют скорость в различных точках распределенной системы, можно определить скорость в точке рабочей массы (нагрузки), зная скорость вала двигателя и корректирующую передаточную функцию [9]. Эта передаточная функция описывает корректирующее устройство:

$$W_{ky}(x, p) = \frac{ch(\tilde{p} \cdot \tilde{x}) \cdot sh(\tilde{p})}{\mu_2 \cdot \tilde{p} \cdot [(ch^2(\tilde{p}) - ch^2(\tilde{p} \cdot \tilde{x})) + sh(\tilde{p}) \cdot ch(\tilde{p})]} \quad (1)$$

Передаточная функция приводится к более простому виду:

$$W_{ky}(x, p) = \frac{sh(\tilde{p}) \cdot ch(\tilde{p})}{sh(\tilde{p}) \cdot ch(\tilde{p}) + \mu_2 \cdot \tilde{p} \cdot (ch^2(\tilde{p}) - ch^2(\tilde{p} \cdot \tilde{x}))} \quad (2)$$

Передаточная функция $W_{ky}(x, p)$ преобразуется в передаточную функцию $W_k(x, p)$, которая находится в обратной связи:

$$W_k(x, p) = \frac{ch^2(\tilde{p}) - ch^2(\tilde{p} \cdot \tilde{x})}{ch(\tilde{p} \cdot \tilde{x}) \cdot sh(\tilde{p})} \quad (3)$$

Полученная передаточная функция проще, что удобнее для изучения и моделирования: ее аппроксимация позволяет при изменении парциальных параметров учитывать изменение резонансных свойств системы с распределенными параметрами [10].

Графически корректирующее устройство показано на рисунке 2.

Преимущества полученной передаточной функции:

- отсутствие степеней выше первой при p в знаменателе, что упрощает ее изучение;
- независимость передаточной функции от массы 1 и 2.

Недостатки полученной передаточной функции:

- наличие гиперболических тригонометрических функций, что усложняет исследование;
- наличие дифференцирующего звена, затрудняющего реализацию передаточной функции.

При построении замкнутой системы управления электромеханической системой с распределенными

параметрами точка подключения обратной связи выбирается в точке положения нагрузки.

Экспериментальный стенд подробно описан в [11].

На частоте 0,63 Гц возникает первый резонанс в системе с распределенными параметрами без дополнительной обратной связи, а на частоте 1,31 Гц – в распределенной системе с дополнительной обратной связью. Пропускная способность системы увеличена более чем вдвое без сложных настроек. Первый (наиболее опасный) резонанс сглаживается при использовании дополнительной обратной связи [12]. Использование резонансного регулятора скорости усложняет систему управления и снижает скорость системы, а поскольку резонансные частоты меняются во время работы системы, это приведет к усложнению резонансного регулятора скорости.

Литература

1. Рассудов, Л. Н., Электроприводы с распределенными параметрами электромеханических элементов / Л. Н. Рассудов, В. Н. Мязель. – Ленинград : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 144 с.
2. Бутковский, А. Г. Методы управления системами с распределенными параметрами / А. Г. Бутковский. – Москва : Наука, 1975. – 230 с.
3. Jagannathan, Sarangapani. Neural network control of nonlinear discrete-time systems / Sarangapani Jagannathan // Taylor & Francis. – vol. AC-15, 652, 2006.
4. Narendra, K.S. Frequency domain criteria for absolute stability / K.S. Narendra, J. H. Taylor // Academic Press, N. Y. and London, 1973. – 358 p.
5. Толочко, О. І. Анализ та синтез електромеханічних систем зі спостережачими стану / О. І. Толочко – Донецк : Норд-Пресс, 2004. – 298 с.
6. Kyriakos, V. Control of Complex Systems. Theory and Applications / Vamvoudakis Kyriakos, Sarangapani Jagannathan. – Butterworth-Heinemann, 2016. – 386 p.
7. Кузовков, Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Н. Т. Кузовков. – Москва : Машиностроение, 1976. – 184 с.
8. Корнеев, А. П. Применение наблюдателей состояния в системах с распределенными параметрами / А. П. Корнеев, Г. С. Ленецкий // Информационные технологии, энергетика и экономика : материалы II межрегиональной научно-технической конференции, Смоленск. 13–14 апреля 2005 г., МЭИ (ТУ). – Смоленск, 2005. – С. 40–44.
9. Корнеев, А. П. Математическое моделирование электромеханической системы с распределенными параметрами в среде MATLAB / А. П. Корнеев // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2020. – № 3. – С. 33–35.
10. Корнеев, А. П. Новый способ аппроксимации механической части нестационарной электромеханической системы с распределенными параметрами / А. П. Корнеев // Наука настоящего и будущего : сборник материалов конференции V научно-практической конференции с международным участием. – Санкт-Петербург : ЛЭТИ, 2017. – С. 168–170.
11. Корнеев, А. П. Исследование систем с распределенными параметрами во временной области при помощи экспериментального стенда / А. П. Корнеев // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 1. – С. 32–34.
12. Корнеев, А. П. Система управления объектом с распределенными параметрами / А. П. Корнеев // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике : материалы XII Всероссийской научно-технической конференции, Чебоксары, 05 июня 2020 года. – Чебоксары : Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2020. – С. 3–4.

A.P. Korneev

Belarusian-Russian University

CONTROL OF SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

The article is devoted to the control of an electromechanical system with distributed parameters. A method for constructing a closed-loop control system for an electromechanical system with distributed parameters using a correcting device in feedback is presented. The block diagram of the proposed method is shown. The transfer function is calculated and a graphic representation of the correcting device is presented. The advantages and disadvantages of the obtained transfer function are considered. The LAFC of a system with distributed parameters without an additional contour and with an additional contour along the spatial coordinate is presented. The analysis of the obtained result is carried out.

Keywords: distributed parameter system, resonance, correcting device, data recovery, hyperbolic trigonometric function.



РАЗРАБОТКА МИКРОСЕРВИСА ОТОБРАЖЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ В УНИВЕРСИТЕТЕ

Во время разработки микросервиса применялись на практике концепция MVC-проектирования приложений, современные языки программирования Java, JavaScript, а также фреймворки Spring и AngularJS. Были проведены исследования в области взаимодействия сервера с клиентом, в ходе которых было получено достаточно сведений для внедрения архитектурного стиля взаимодействия компонентов распределенного приложения в сети REST в разработанный микросервис. При помощи JavaScript была разработана система взаимодействия с базой данных, предоставляемой Google Firebase. Результатом разработки стало полноценное функционирующее веб-приложение со множеством возможностей, в первую очередь с возможностью показа расписания университета, использующее в качестве базы данных виртуальную, что дает возможность показа расписания в режиме реального времени.

Разработка микросервиса, концепция MVC, архитектурный стиль REST, виртуальная база данных, язык программирования Java, язык программирования JavaScript, фреймворки.

Цифровизация охватывает все больше сфер жизни общества, что связано с постоянной потребностью сделать информацию максимально доступной для каждого человека. Растет актуальность цифровых форматов разного рода информации, в частности расписания занятий университета.

На данный момент существует большое количество цифровых инструментов, которые позволяют создавать и отображать расписание для занятий университета, например настольные приложения, андроид-приложения, веб-сайты. Микросервис, рассматриваемый в данной статье, представляет собой веб-сайт. Данный подход был использован из-за ряда преимуществ, таких как отображение расписания занятий в реальном времени, а также огромные возможности этих языков при достаточной простоте их изучения (в отличие от обычных языков программирования, например С или С++).

В данном веб-приложении использована трехуровневая архитектура как частный случай многоуровневой – модульная клиент-серверная архитектура, которая состоит из слоя представления, слоя приложения и слоя данных.

Первым шагом в разработке веб-приложения является создание Maven-проекта в приложении IntelliJ IDEA. После этого с помощью Spring Initializr генерируется пустой проект с внедренной зависимостью Spring BOOT в pom.xml [1]. Этот проект позже распаковывается в ранее созданный проект в IntelliJ. После чего создается минимальный набор классов и помещается в каталоге src/main/java/com/unished/unisheduleapp (подкаталоги com/unished/unisheduleapp ранее генери-

руются в Spring Initializr). В данном случае в конечном подкаталоге уже существует сгенерированный ранее класс UnisheduleAppApplication, содержащий метод main, который используется Spring Boot для запуска сервлет-контейнера Tomcat и приложения. Далее необходимо создать конфигурацию запуска Spring Boot приложения в IntelliJ. Для этого через Edit configurations создается новая конфигурация типа Application, где в графе Main class выбирается UnisheduleAppApplication, содержащий метод main. Так, при нажатии на Run (или сочетании клавиш Shift+F10) приложение запускается по адресу http://localhost:8080. После этого происходит работа со слоем представления, который и будет отображать интерфейс микросервиса. Для этого создается index.html в каталоге src/main/resources/static, который будет автоматически запускаться при открытии страницы микросервиса. После этого происходит наполнение содержимым этого файла с использованием HTML-разметки и таблицей каскадных стилей CSS. Также используется свободный набор инструментов для создания сайтов и веб-приложений – Twitter Bootstrap. При наполнении index.html создаются четыре контейнера, второй и третий из которых представляют собой прямоугольные окна (второй контейнер служит для хранения «шапки» страницы микросервиса, а в третьем будет выводиться расписание и происходит поиск по группам/преподавателям); первый и четвертый контейнеры не содержат никакой информации и служат лишь для разграничения второго и третьего контейнеров от остальной страницы (рис. 1).

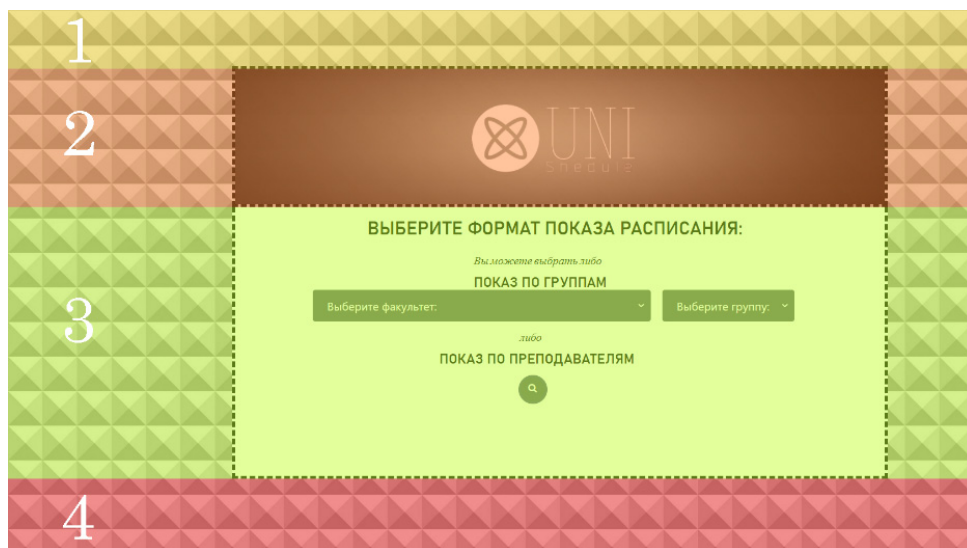


Рис. 1. Структура контейнеров

Для реализации слоя приложения в данном микросервисе используются файлы js, в которых описаны функции для получения и вывода информации. Эти функции определены в контроллере AngularJS; также используются Java-классы со Spring-аннотациями, которые разделяют каждый слой приложения. Для реализации слоя приложения используются класс контроллера (помечен аннотацией `@RestController`; представляет собой часть слоя представления), который непосредственно взаимодействует со слоем представления, а также класс сервиса (помечен аннотацией `@Service`; представляет собой бизнес-логику), который вычисляет даты на текущую неделю, а также конфигурацию текущей недели (под чертой/над чертой). Вычисленные данные при помощи контроллера отправляются через GET-запрос в слой представления, где AngularJS с помощью того же запроса получает их, а позже либо использует эти данные для заполнения расписания занятий, либо выводит на страницу веб-приложения в приемлемом для пользователя виде. Контроллер AngularJS захватывает всю главную страницу микросервиса, что позволяет минимизировать количество строк кода, используя, к примеру, только директивы [2]. Так, для отображения списка групп и факультетов используется отдельная директива, код которой расположен в отдельном html-файле. Аналогично используются директивы для отображения поля поиска преподавателя, а также отображения таблиц с расписанием. Когда пользователь выбирает группу или преподавателя, активизируется работа маршрутизатора AngularJS, который позволяет сделать веб-приложение одностраничным (делает возможным переходы на разные страницы без перезагрузки главной страницы). При выборе группы маршрутизатор выводит содержимое страницы с таблицей для группы (содержимое директивы). Аналогично при выборе преподавателя. В то же время при поиске расписания по преподавателям при вводе фамилии каждый раз вызывается функция фильтрации, которая из списка всех преподавателей находит тех, в фамилии которых содержится строка, введенная пользователем. Отфильтрованные данные передаются на веб-страницу

списком, в котором пользователь может выбрать необходимого ему преподавателя. Фильтрация начинает работать при вводе трех и более символов. Веб-приложение использует данные, полученные из виртуальной базы данных Google Firebase Realtime Database, которая обновляется в режиме реального времени [3]. Соединение с базой данных происходит в отдельном js-файле, где полученные данные (в формате JSON) сразу заносятся в глобальную переменную, которая позже используется в контроллере AngularJS. Соединение с базой данных требует некоторого времени, поэтому для ожидания получения данных в контроллере предусмотрен таймер – в это время для пользователя будет отображаться индикатор загрузки.

Далее рассмотрим принцип работы микросервиса. При запуске веб-приложения пользователю необходимо перейти по адресу `localhost:8080` в браузере, после чего начнется процесс загрузки интерфейса (в этот момент микросервис получает данные из виртуальной базы данных; процесс загрузки обычно занимает до 4–5 секунд). Затем пользователю становится доступно меню выбора действий: просмотр расписания по группам или преподавателям. Далее пользователь может либо выбрать интересующую его группу (перед выбором группы необходимо выбрать и факультет, к которому относится искомая группа), либо ввести фамилию преподавателя. После того как пользователь, к примеру, выбрал группу, микросервис автоматически показывает расписание для этой группы, содержащееся в 6 отдельных таблицах, представляющих дни недели (рис. 2). Каждая таблица состоит из 5 столбцов: порядковый номер занятия, наименование дисциплины, время проведения занятия, квалификация и ФИО преподавателя, аудитория. Над каждой таблицей указана дата и день недели, а перед первой таблицей указаны группа, для которой выведено расписание, и конфигурация текущей недели (под чертой/над чертой). Микросервис распознает, является ли текущая неделя над чертой/под чертой и, соответственно, выводит расписание с необходимой конфигурацией. Если же пользователю необхо-

димо узнать расписание для конкретного преподавателя, он может ввести его фамилию (если есть преподаватели-однофамильцы, то и инициалы) в соответствующее поле ввода. После ввода первых трех символов пользователю предоставляется полный список похожих фамилий (по крайней мере тех, в которых содержится подпоследовательность введенных пользователем символов), из которых он может выбрать фамилию интересующего его преподавателя, после чего микросервис загружает актуальное расписание на текущую неделю для этого преподавателя.



Рис. 2. Фрагмент страницы с расписанием занятий для группы ПМ-31

Для преподавателя, так же как и в расписании для групп, отобразятся шесть таблиц, представляющих дни недели, но вместо столбца «Преподаватель» в таблицах расписания указана группа, у которой будет занятие у этого преподавателя, а также перед первой таблицей указан преподаватель, расписание которого было выведено. Пользователь может в любой момент, просматривая расписание для группы, просмотреть расписание для преподавателя, и наоборот.

Разработанный микросервис отображения расписания занятий университета – отличный способ узнать актуальное расписание необходимой группы или необходимого преподавателя. В данном проекте есть возможность посмотреть на использование в связке языков программирования и фреймворков, таких как: JavaScript, HTML, CSS, Bootstrap, Java, Spring Framework, AngularJS. Дальнейшая разработка предполагает внедрение дополнительного функционала, например показ расписания по аудиториям с возможностью отображения свободных аудиторий, система учетных записей.

Литература

1. Spring QuickStart Guide. – URL: <https://spring.io/quickstart>. – Текст : электронный (дата обращения: 11.11.2020).
2. AngularJS Tutorial. – URL: <https://www.w3schools.com/angular/default.asp>. – Текст : электронный (дата обращения: 2.03.2021).
3. Firebase Documentation. – URL: <https://firebase.google.com/docs/web/setup?hl=uk>. – Текст : электронный (дата обращения: 11.03.2021).

S.F. Maslovich, R.O. Seglin

Gomel State University named after Francisk Skorina

DEVELOPMENT OF MICROSERVICE FOR DISPLAYING UNIVERSITY CLASS SCHEDULE

During the development of the microservice, the concept of MVC application design, modern programming languages Java, JavaScript, as well as the Spring and AngularJS frameworks were applied in practice. Research was conducted in the field of server-client interaction, during which enough information was obtained to implement an architectural style of interaction of components of a distributed application in the REST network in the developed microservice. Since an important component of such microservice is a database, a system of interaction with the database provided by Google Firebase was developed using JavaScript. The result of the development was a fully functioning web application with many features, primarily with the ability to display the university schedule, using a virtual database as a database, which makes it possible to display the schedule in real time.

Microservice development, MVC concept, REST architectural style, virtual database, Java programming language, JavaScript programming language, frameworks.



PLM-СИСТЕМА ДЛЯ ПРОГРАММИСТА

В статье обоснована актуальность создания интегрированной системы поддержки управления профессиональным жизненным циклом человека. Используются современные международные и отечественные стандарты и методики управления трудовыми ресурсами, нормативные документы отраслей образования и программной инженерии. Определены заинтересованные в использовании PLM-системы стороны, сформулированы требования к ее функциональности, установлены виды и источники необходимой информации и формы ее представления, предложена архитектурная модель PLM-системы в виде многоуровневой комбинации сервисов и вариант финансирования ее создания и использования.

Архитектурная модель, жизненный цикл, интеграция систем, цифровой двойник, поддержка принятия решения, профессиональные компетенции, программная инженерия.

Идея управления жизненным циклом промышленных изделий (далее – PLM, Product Lifecycle Management) не нова: на рынке предлагается широкий спектр системных решений с разнообразной архитектурой, идеологией и функциональностью, например [3]. Правомерна постановка задачи распространения накопленного опыта на управление жизненным циклом и качественно иных видов продуктов общественного производства.

Не умаляя всей сложности такого феномена, как человеческая личность, можно с некоторыми оговорками утверждать, что в своем социально профессиональном измерении современный человек является продуктом целенаправленной деятельности по созданию, поддержанию и развитию его творческих и производительных возможностей. Главным отличием от других видов продуктов общественного производства является то, что человек в процессе формирования и развития своих профессиональных качеств выступает не только в роли объекта, но и активного субъекта управления.

Современные системы образования, работодатели, трудовые коллективы, профессиональные сообщества используют для поддержки принятия управленческих решений в этой области различные информационные системы. Однако задача интеграции разрозненных систем в единую PLM-систему, действующую в интересах самого объекта управления, пока даже не обсуждается. В результате нерационально расходуются ресурсы на многократный сбор и переработку уже имеющейся информации, общество теряет возможность оптимизации усилий по планированию, воспроизводству, распределению и использованию своих производительных сил. Это приводит к ослаблению позиций в конкуренции между отдельными предприятиями, сообществами, странами.

Таким образом, разработка концепции интегрированной системы поддержки управления профессиональным жизненным циклом человека представляется весьма актуальной.

Одной из главных проблем оценки способностей человека к профессиональной деятельности является формирование необходимого и достаточного набора метрик, которые в совокупности давали бы объективную оценку и признавались бы системой профессионального образования, работодателями и самими объектами этой оценки. Вариантом решения этой проблемы является компетентностный подход в сферах образования и применения профессионально подготовленных трудовых ресурсов. Для разных профессий степень успешности такого подхода различна: чем более сложной, творческой и индивидуальной является деятельность человека, тем сложнее оценить его реальный профессиональный уровень стандартным набором относительно легко и объективно измеримых метрик.

Профессиональная деятельность в программной инженерии лежит где-то посередине между рутинными и сугубо творческими видами деятельности, пока еще ближе к последним, но развитие и стандартизация отрасли постепенно смещают необходимый набор профессиональных качеств программистов из области высокого искусства в область сложного ремесла.

Основными источниками требований к компетенциям программиста являются Руководство к своду знаний в области программной инженерии (далее – SWEBoK) [9], соответствующие федеральные государственные образовательные стандарты (далее – ФГОС), например [7], и профессиональный стандарт программиста [5], а также, как правило, более конкретные и узкие по набору компетенций требования отдельных работодателей. SWEBoK в современной (третьей) версии содержит развернутое описание необходимых уровней компетенций программиста в 15 различных областях знаний. Могут быть полезны и Рекомендации по преподаванию программной инженерии в университетах (Software Engineering 2004: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering).

ФГОС и создаваемые на их основе основные профессиональные образовательные программы (далее –

ОПОП) по укрупненной группе направлений обучения «Информатика и вычислительная техника» содержат гораздо более компактный набор универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций, которые далее детализируются в систему индикаторов степени их освоения обучающимися.

Профессиональные стандарты представляют набор необходимых качеств работника через двухуровневую систему трудовых функций, каждая из которых может входить или не входить в профиль той или иной конкретной должности, предлагаемой для замещения работодателем. В зависимости от степени самостоятельности и сложности принимаемых работником решений профессиональные стандарты предлагают несколько уровней квалификации и соответствующие им наборы описаний трудовых действий, необходимых знаний и умений.

Методика применения ФГОС при разработке вузом ОПОП предполагает формирование набора профессиональных компетенций выпускника на основе формулировок трудовых действий, знаний и умений из профессионального стандарта. Работодатель призван формировать профиль должности также на основе рекомендаций профессиональных стандартов, но в силу многих объективных и субъективных причин чаще использует более привычные конкретному предприятию понятия и языковые конструкции, что ведет к потере взаимопонимания между ним и образовательной организацией.

Традиционными способами приобретения и развития компетенций в программной инженерии являются образование и самообразование, творческая и трудовая деятельность в профессии, взаимодействие с профессиональным сообществом. От многих других отраслей ее отличает высокая доступность инфраструктуры, необходимой для начала профессиональной деятельности: персональный компьютер с набором средств разработки и доступом в глобальную сеть дает возможность и обучаться, и работать, и совершенствоваться в профессии. Но эта возможность имеет и обратную сторону – отсутствие навыков взаимодействия в коллективе и возможности передачи опыта в ходе совместной деятельности профессионалов, что негативно сказывается, например, в работе проектных команд.

Другой важной стороной профессии является относительно слабая зависимость результатов деятельности программиста от его физических данных и особенностей состояния организма, что дает возможность высокого уровня самореализации для людей с ограниченными физическими возможностями.

Свои системы оценки уровня профессиональных компетенций человека используют образование, работодатели, профессиональное сообщество, постепенно складывается и система независимой сертификации специалистов. Однако из-за существенных различий в показателях и методиках оценки результаты, полученные в одной системе, не всегда признаются и используются в других. Чем более сложной и творческой является профессиональная деятельность, чем больше различия в уровне и особенностях развития человека на входе в систему профессионального обучения, тем более индивидуальными должны быть об-

разовательная траектория и дальнейшее управление профессиональной карьерой, качество которого не достижимо без применения современных информационных технологий.

Основными компонентами PLM-системы являются подсистемы сбора и актуализации информации, поддержки принятия решений (далее – СППР), исполнения решений и контроля, средства управления хранилищем данных и проч. При создании СППР по формированию у человека профессиональных компетенций и развитию профессиональной карьеры, являющейся ключевой компонентой PLM-системы, необходимо определиться с субъектами и видами принимаемых решений.

В первую очередь это сам человек, связывающий свою судьбу с определенной профессией. Ему приходится неоднократно принимать решения:

- о необходимости и возможности обучения, его направленности, специализации и видах, выборе поставщика образовательных услуг, формы обучения;
- о необходимости и возможности профессиональной деятельности, ее виде, специализации и формах, выборе работодателя или самозанятости;
- об изменении специализации, формы работы, смене работодателя или об уходе из профессии и проч.

Для обоснованного принятия указанных выше решений необходима разнообразная и актуальная информация: о нормативном регулировании отрасли, образовательных и трудовых отношений, объективных оценках собственного профессионального уровня и возможностей конкурентов, экономических прогнозах отрасли, конкретных организаций и параметров семейного бюджета, доступных рабочих или учебных местах и конкурсах, уровне сложности и напряженности труда и прочих его особенностях, о процедурах и условиях реализации решений и проч. Критерии выбора того или иного варианта решения достаточно универсальны: желания и возможности человека, время, деньги, риски.

Образовательные организации обеспечивают как содержательную, так и формальную (дипломы, сертификаты) его сторону. Для принятия решений о приеме обучающихся, направленности и специализации обучения, текущей, промежуточной и итоговой аттестации им также необходима информация по нормативному регулированию отрасли образования и предметной области подготовки обучаемых, объективные оценки образовательного уровня и возможностей претендентов и обучающихся, собственного кадрового, технологического и материально-технического потенциала и аналогичные характеристики конкурентов на рынке образовательных услуг, экономические прогнозы отрасли, включая популярность направлений подготовки и потребность в специалистах по этим направлениям, объемы государственного заказа и сведения о кредитоспособности обучающихся, о процедурах и условиях реализации решений и проч. Кроме необходимого набора и уровня компетенций, возможностей их получения и подтверждения, образовательные организации формируют и предлагают обучающемуся и свой бренд, благодаря которому он будет узнаваем на рынке труда.

Участие образовательных организаций в жизненном цикле программиста не ограничивается только формированием компетенций. Они могут выступать и в качестве участника системы сертификации профессиональных компетенций, и в качестве работодателя для профессионалов, решивших делиться своим опытом и знаниями с обучаемыми, и в качестве организатора площадок для взаимодействия представителей профессий, по которым осуществляют подготовку.

Работодатели (или партнеры в случае кооперации) наиболее активно участвуют в жизненном цикле на этапе профессиональной самореализации человека, однако могут влиять на него и в других периодах. Среди принимаемых решений – прием в коллектив и увольнение, определение роли профессионала в производственных процессах, квалификационные испытания и аттестации, решения по управлению профессиональной карьерой, предложения по участию в проектах и оценка качества их результатов, организация различных форм обмена опытом и проч.

Наряду с уже упомянутыми выше видами необходимой для принятия решений информации о нормативном регулировании отрасли и трудовых отношений, персональных качествах, возможностях и достижениях работника, принятие решений работодателем связано с анализом информации с рынков труда, технологий, продуктов и услуг, других видов ресурсов, необходимых для ведения производственной деятельности, соотносением ее с миссией и стратегией развития предприятия, характеристиками имеющегося производственного потенциала и прогнозами его развития.

Участие профессиональных сообществ в жизненном цикле программиста не носит пока регулярного характера, это связано и с относительной молодостью профессии, и с отсутствием традиций совместной защиты прав и лоббирования интересов в других общественных и государственных структурах. Однако огромное количество площадок для обсуждения профессиональных проблем как узко технологического, так и организационного, и нормативного характера в сети Интернет говорит о существенном влиянии профессиональных сообществ на принятие решений самим человеком, его работодателями и образовательными организациями.

Государство также участвует в профессиональном жизненном цикле программиста, в первую очередь через нормативное регулирование отрасли, сферы образования и трудовых отношений в целом, сертификацию профессиональных компетенций человека, создание и развитие ИТ-инфраструктуры страны, финансирование образовательных организаций, госзаказ на продукцию и услуги отрасли, создание бюджетных рабочих мест, конкурсные процедуры по их заполнению и проч.

Мы рассмотрели особенности участия в профессиональном жизненном цикле программиста лишь основных заинтересованных сторон, но даже этот краткий анализ показывает, что при разработке и создании PLM-системы необходимо интегрировать множество разнообразных информационных ресурсов и сервисов, согласовать интересы и действия большого числа субъектов с различными и часто конкури-

рующими целями. В условиях интенсивного изменения технологий обработки информации, форматов представления различных данных об уровне компетенций и результатах деятельности человека-профессионала дублирование всех информационных ресурсов источников информации в хранилище данных самой PLM-системы программиста вряд ли оправдано, логичнее при возникновении ситуации, требующей принятия решения, обращаться к первоисточнику, как это принято в PLM-системах производителей изделий.

При наличии достаточных гарантий обеспечения доступа к первоисточникам, в хранилище данных самой PLM-системы необходимо ведение баз данных поставщиков образовательных услуг, работодателей, центров сертификации, принимавших участие в жизненном цикле человека, и профессиональных досье с необходимым набором персональных данных, информацией о результатах оценки квалификаций, событиях жизненного цикла, основных результатах деятельности, изменениях в карьере.

Прообразами разрабатываемой PLM-системы, решающими часть задач по управлению жизненным циклом профессионала, являются информационные системы образовательных организаций, рекрутинговых агентств, работодателей, центров сертификации компетенций и других заинтересованных лиц. Среди проблем интеграции этих систем (при наличии согласия их владельцев), как и в других отраслях: обеспечение актуальности, достоверности и методической согласованности данных, необходимых для принятия решений, возможности их автоматизированной обработки, стандартизация форматов данных, защита персональных данных и других видов информации ограниченного доступа.

Анализ рассмотренных выше аналогов показывает, что информационные системы образовательных организаций наиболее подготовлены для интеграции в PLM-систему: основная информация в них, касающаяся профессиональной подготовки обучающихся, по определению является общедоступной. Проблема, правда, в малой пригодности принятых форматов публикации документов для машинной обработки, те же тексты выпускных квалификационных работ или учебные планы в PDF-формате без сопровождения их необходимыми для анализа содержания метаданными мало что дадут рекрутинговому агентству или работодателю.

Образовательные организации, помимо выполнения традиционных функций учета персонала, контролируют результаты деятельности сотрудников в рамках системы показателей «эффективных контрактов», которые также могут быть использованы как источники данных для PLM-системы. Заинтересована образовательная организация и в обратной связи от своих выпускников, работодателей и профессионального сообщества, способных дать объективную оценку качества подготовки специалистов и рекомендовать направления ее совершенствования.

Основные концептуальные решения в сфере PLM находят отражение в системе стандартов, определяющих правила представления в машиночитаемом виде информации о конструкции и характеристиках изделий, технологиях их производства и применения.

Примером может служить ГОСТ Р ИСО/ТС 10303-1231-2014 [2], а в части деловой, организационной и коммерческой информации – спецификации CommerceML EDI [8].

В отношении сложных искусственных объектов на концептуальном и технологическом уровнях разработаны идеи «цифрового двойника» изделия – виртуальной модели, позволяющей с необходимой степенью точности судить не только о его устройстве и свойствах, но и возможном поведении в различных условиях окружающей среды. Аналогичную по свойствам и назначению модель необходимо разработать и для PLM-системы программиста. Фирма Microsoft уже запатентовала технологию создания «цифровых двойников» людей, которые имитируют некоторые параметры личности для ее замещения в социальных сетях в виде персонализированных чат-ботов.

На платформе «Университет 2035» разработана и используется концепция «цифрового следа» – данных об образовательной, профессиональной или иной деятельности человека, представленных в электронной форме [6].

При управлении профессиональным жизненным циклом человека полезно использовать стандарт ГОСТ Р 57193-2016 [1], содержащий, среди прочих, описание процесса управления человеческими ресурсами. Цель процесса – обеспечить организации необходимыми человеческими ресурсами и поддерживать их компетентность на уровне, совместимом с бизнес-потребностями. Другой процесс – управление знаниями – призван создать возможности и активы, которые позволяют организации повторно использовать существующие знания. Стандарт перечисляет действия и задачи, необходимые для обеспечения уровня квалификации и знаний персонала.

Все перечисленные научные и технологические достижения могут быть частично заимствованы или адаптированы для использования при разработке PLM-системы для программиста.

На основе анализа информационных потребностей заинтересованных сторон автором определены требования к функциональности PLM-системы. Функции системы, доступные основным классам ее пользователей, представлены на рисунке 1.

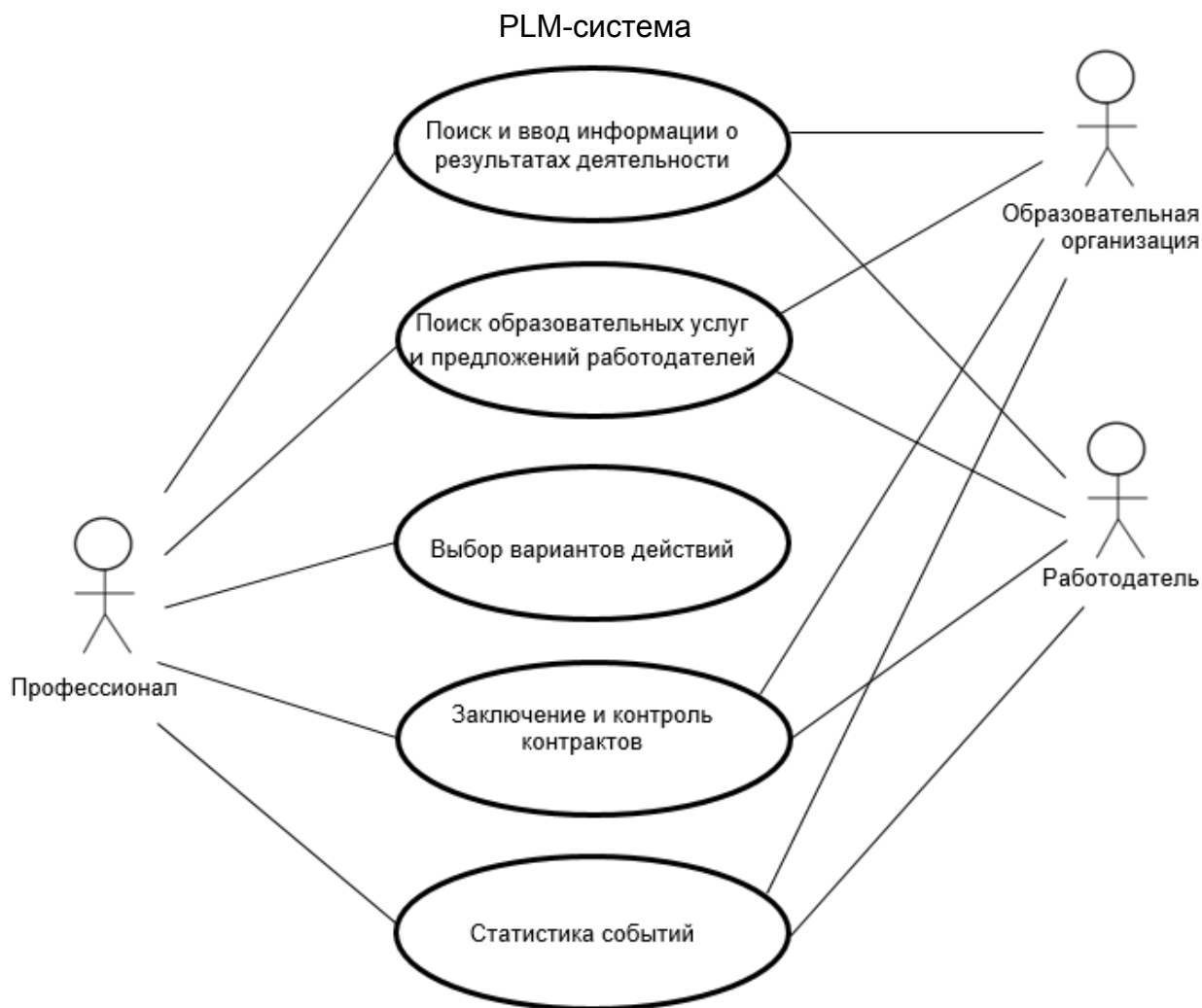


Рис. 1. Основные функции PLM-системы

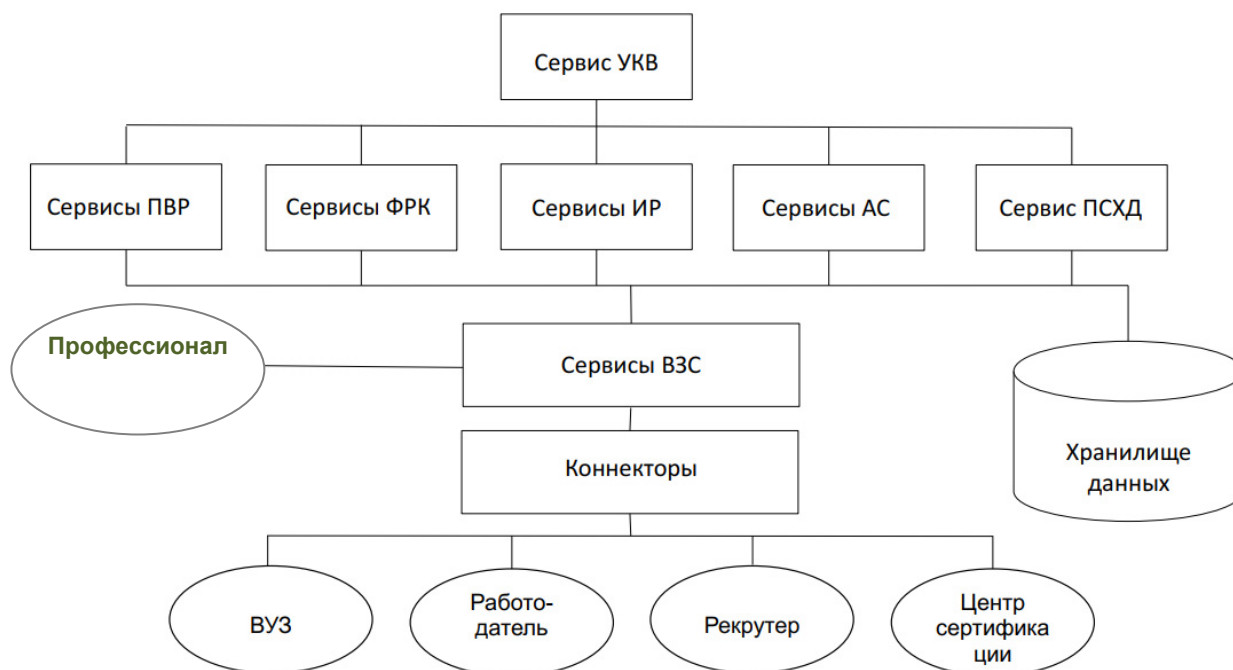


Рис. 2. Архитектурная модель PLM-системы для программиста

Система должна выполнять следующие операции:

- ввод и регистрация данных о профессиональных качествах и квалификации человека и событиях его жизненного цикла;
- поиск информации о результатах образовательной, профессиональной или публикационной деятельности человека;
- поиск характеристик и условий предоставления образовательных услуг;
- поиск предложений на рынке труда;
- формирование вариантов решения проблем, выбора предложений по заданным критериям;
- заключение контрактов на обучение или профессиональную деятельность, контроль исполнения контрактов;
- ведение баз данных поставщиков образовательных услуг, работодателей, центров сертификации, профессионального досье;
- формирование и анализ статистики событий профессионального жизненного цикла.

Архитектурная модель PLM-системы (рис. 2) представляется по аналогии с [4] в виде многоуровневой комбинации сервисов нескольких типов.

На рисунке 2 представлены:

- сервисы взаимодействия с заинтересованными сторонами (ВЗС);
- сервис управления коммуникациями и взаимодействием (УКВ);
- сервисы поиска вариантов решения (ПВР);
- сервисы формирования решения по заданным критериям (ФРК);
- сервисы исполнения решений (ИР);
- сервис протоколирования событий и хранения данных (ПСХД)
- сервисы анализа статистики (АС).

Для обеспечения взаимодействия в гетерогенных средах в модели используются коннекторы с информационными системами поставщиков информации.

Владельцем PLM-системы может быть, например, провайдер облачных сервисов или интегратор услуг, а на первых порах, до появления конкурентов, возможно, и образовательная организация, формирующая квалификации профессионала. Коммерциализация проекта возможна за счет участия в финансировании разработки и сопровождения системы заинтересованных образовательных организаций, рекрутинговых агентств и работодателей, рекламирующих предоставлением информации PLM-системе свои предложения и услуги и получающих от системы необходимую информацию об уровне квалификации и достижениях субъектов данных.

В исследовании на основе современных международных и отечественных стандартов и методик определены заинтересованные в использовании PLM-системы стороны, сформулированы требования к ее функциональности, установлены виды и источники необходимой информации и формы ее представления, предложена архитектурная модель PLM-системы в виде многоуровневой комбинации сервисов и вариант финансирования ее создания и использования.

Литература

1. ГОСТ Р 57193-2016. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, NEQ) : введ. 01.11.2017. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 98 с.
2. ГОСТ Р ИСО/ТС 10303-1231-2014. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 1231. Прикладной модуль. Управление данными об изделии : введ. 01.08.2015. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 171 с.
3. ЛОЦМАН:PLM : офиц. сайт. – URL: <https://ascon.ru/products/889/review/>. – Текст : электронный (дата обращения: 28.02.2021).

4. Полянский, А. М. Концепция PLM-системы для владельца изделий / А. М. Полянский // Десятые Чарновские чтения : сборник трудов X Всероссийской научной конференции по организации производства. – Москва : НОЦ «Контроллинг и управленческие инновации» МГТУ им. Н.Э. Баумана ; НП «Объединение контроллеров», 2021. – С. 152–158.

5. Профессиональный стандарт 06.001 «Программист». – URL: http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT_ID=56414. – Текст : электронный (дата обращения: 28.02.2021).

6. Университет 2035 : официальный сайт. – URL: <https://standard.2035.university/>. – Текст : электронный (дата обращения: 28.02.2021).

7. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 09.03.04 Программная инженерия. – URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Bak/090304_B_3_17102017.pdf. – Текст : электронный (дата обращения: 28.02.2021).

8. CommerceML EDI : официальный сайт. – URL: <https://v8.1c.ru/tehnologii/obmen-dannymi-i-integratsiya/standarty-i-formaty/standarty-commerceml/commerceml-2/>. – Текст : электронный (дата обращения: 28.02.2021).

9. ISO/IEC TR 19759:2015 Software Engineering – Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOOK) – Second Edition. – URL: <https://www.iso.org/standard/67604.html>. – Текст : электронный (дата обращения: 28.02.2021).

A.M. Polyanskiy
Vologda State University

PLM-SYSTEM FOR PROGRAMMER

The article substantiates the relevance of creating an integrated system to support the management of a person's professional life cycle. We used modern international and domestic standards and methods of human resource management, regulatory documents of the education and software engineering industries. The parties interested in using the PLM system are identified, the requirements for its functionality are formulated, the types and sources of necessary information and forms of its presentation are established, the architectural model of the PLM system in the form of a multi-level combination of services and the financing option for its creation and use are proposed.

Architectural model, lifecycle, system integration, digital twin, decision support, professional competencies, software engineering.

УДК 624.07:620.9



Е.Р. Вудвуд, Е.В. Дзевецкая
Бендерский политехнический филиал ГОУ «ПГУ имени Т.Г. Шевченко»

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

В данной статье рассмотрены результаты энергетического обследования учебного корпуса с целью определения энергетической эффективности жилого здания и разработки мероприятий по энергосбережению.

Общественное здание, энергосбережение, энергетическая эффективность, ограждающие конструкции, утеплительный слой.

На сегодняшний день при эксплуатации зданий и сооружений важно целесообразно использовать энергетические ресурсы с применением минимального количества энергии для покрытия той же степени энергетического обеспечения с поддержанием уютного микроклимата внутри помещений.

Цели энергетического обследования:

- получить объективные данные об объеме используемых энергетических ресурсов в жилом здании;
- определить показатели энергетической эффективности жилого здания;
- определить потенциал энергосбережения в жилом здании и повышения энергетической эффективности;
- разработать перечень мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в жилом здании.

В качестве объекта для энергетического обследования был выбран корпус «Б» БПФ ПГУ имени Т.Г. Шевченко, по адресу: г. Бендеры, ул. Бендерского восстания, 7. Данное здание является общественным, малоэтажным и отдельно стоящим.

Исходя из плана здания, были рассчитаны геометрические характеристики здания, такие как строительный объем здания, отопляемый объем здания, количество аудиторий и общая площадь помещений.

Перед проведением расчетов теплотехнических и энергетических показателей здания по данным СНиП 41-01-2011 были выбраны климатические данные района строительства здания и параметры воздуха внутри его помещений (табл. 1).

Для определения уровня теплозащиты ограждающих конструкций был произведен теплотехнический расчет. Так как в данном здании отсутствует утеплительный слой ограждающих конструкций, они имеют большое сопротивление, и результат расчетов свидетельствует о больших теплотерях (табл. 2).

Таблица 1

Климатические данные района и параметры воздуха внутри помещений

Наименование параметров	Ед. измерения	Расчетное значение
Температура холодной 5-дневки	°С	-16
Температура воздуха внутри помещения	°С	18
Продолжительность отопительного периода	сут	162
Строительный объем всего здания	м ³	18600
Расчетная площадь общественных зданий	м ²	3500
Строительный объем отопляемой части здания	м ³	14500

Таблица 2

Теплотехнический расчет

№ этажа	∑Q _{огр.}	Q _{инф.}	Q _{быт.}	Q _{пом.}
1	42440	16250	6720	51970
2	16260	16250	6720	25790
3	16260	16250	6720	25790
4	16260	16250	6720	25790
5	81870	16250	6720	91400
			∑	220740

Следующим этапом нашей работы было определение показателей энергетической эффективности жилого здания. Для этого мы рассчитали удельную тепловую характеристику, которая является комплексным показателем, позволяющим проводить сравнительную оценку энергетической эффективности зданий.

Расчетный удельный расход тепловой энергии системой отопления здания за отопительный период $Q_h^{des}, \frac{кДж}{м^3 * C_{сут}}$, должен быть меньше или равен требуемому значению Q_h^{req} и определяется путем выбора теплозащитных свойств оболочки здания и типа,

эффективности и метода регулирования используемых систем отопления и вентиляции по формуле:

$$q_h^{req} \geq q_h^{des} \quad (1)$$

$$q_h^{des} = Q_h^y / A_h, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{С}_{сут}} \quad (2)$$

где Q_h^y – потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период;

A_h – полезная площадь здания; для жилых зданий – общая площадь квартир.

$$q_h^{des} = \frac{220740 \cdot 3,6}{14500} = 54,8 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{С}_{сут}}$$

Сравним данное значение с нормативным показателем и определим класс энергоэффективности здания (табл. 3) [1].

Величина расчетного удельного расхода тепловой энергии на отопление здания в процентах от нормируемого удельного расхода тепловой энергии на отопление здания:

$$\frac{q_h^{des}}{q_h^{reg}} * 100 \% \rightarrow \frac{48,15}{32} * 100 \% = 150 \% \quad (3)$$

Величина отклонения расчетного значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от нормируемого: $150 \% - 100 \% = +50 \%$.

Таблица 3
Нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление зданий q_h^{reg} , $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{С}_{сут}}$ или $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{С}_{сут}}$

Типы зданий	Этажность зданий					
	1–3	4, 5	6, 7	8, 9	10, 11	12 и выше
1. Жилые, гостиницы, общежития	По табл.	31	29 (80)	27,5 (76)	26 (72)	25 (70)
2. Общественные, кроме поз. 3, 4 и 5 таблицы	42; 38; 36 соответственно нарастанию этажности	32	31	29,5	28	-
3. Поликлиники и лечебные учреждения	34; 33; 32	31	30	29	28	-
4. Дошкольные учреждения	45	-	-	-	-	-
5. Сервисного обслуживания	23; 22; 21	20	30	-	-	-
6. Административного назначения (офисы)	36; 34; 33	27	24	22	20	20

Таблица 4

Класс энергоэффективности здания

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Мероприятия
<i>При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий</i>			
A++	Очень высокий	Ниже -60	Льгота по налогу на имущество на 3 года
A+		От -50 до -60 включительно	
A		От -40 до -50 включительно	
B+	Высокий	От -30 до -40 включительно	
B		От -15 до -30 включительно	
C+	Нормальный	От -5 до -15 включительно	–
C		От +5 до -5 включительно	
C-		От +15 до +5 включительно	
<i>При эксплуатации существующих зданий</i>			
D	Пониженный	От +15,1 до +50 включительно	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании
E	Низкий	Более +50	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании или снос

Стоимость затрат на виды утеплителей

Наименование теплоизоляционного материала	Толщина теплоизоляционных материалов (мм)	Предварительная толщина слоя утеплителя (мм)	Расход материалов на расчетную площадь внешних стен здания 3500 м ²	Стоимость утепления 1 м ² здания (руб)	Цена теплоизоляционного материала (руб)
Пенопласт ($\rho=20$ кг/м ³)	20	<u>35</u>	7000	13,8	96600
Пенопласт ($\rho=50$ кг/м ³)	50	<u>40</u>	3500	46	161000
Каменная вата ($\rho=40$ кг/м ³)	50	<u>45</u>	3500	61	213500
Каменная вата ($\rho=90$ кг/м ³)	50	<u>50</u>	3500	147	514500

Согласно данным таблицы 4 нашему исследуемому зданию можно присвоить **класс энергоэффективности D**. Здания с таким классом энергоэффективности требуют больших вложений для поддержания уютного микроклимата внутри помещения.

Необходимо использовать различные конструктивно-планировочные решения (изменение толщины или материалов ограждающих конструкций с улучшенными теплофизическими свойствами, изменение ориентации здания, типа, эффективности и метода регулирования используемой системы отопления).

По результатам оценки нами предложено *изменить толщину утеплительного слоя ограждающих конструкций*. Далее представлена таблица 5, в которой рассчитана стоимость затрат на данные виды утеплителей, которые можно приобрести на строительных рынках в Приднестровской Молдавской Республике.

Литература

- ГОСТ Р 51541 – 99. Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Основные положения. – Москва : Госстандарт, 2015. – 81 с.
- Об энергосбережении : Закон Приднестровской Молдавской Республики № N 717-3-III от 28 декабря 2005 года. – URL: <http://minregion.gospmr.org/index.php/dokumenty/energetika/153-zakony/909-ob-energoberezhennii>. – Текст : электронный (дата обращения: 27.10.2021).
- Об утверждении положения об энергетическом аудите : Приказ Министерства Промышленности Приднестровской Молдавской Республики от 31 декабря 2010 г. – URL: <http://minregion/gospmr.org>. – Текст : электронный (дата обращения: 27.10.2021).
- Социально-экономического развития Приднестровской Молдавской республики на 2016–2021 годы : Программа. – URL: <http://krzvezda-pmr.ru/?p=803>. – Текст : электронный (дата обращения: 27.10.2021).

E.R. Vudvud, E.V. Dzhevetskaya

Bendery Polytechnic Branch of the State Educational Institution "PSU named after T.G. Shevchenko"

PUBLIC BUILDING ENERGY SURVEY ANALYSIS

In this article, the results of an energy survey of an educational building were considered in order to determine the energy efficiency of a residential building and develop energy saving measures.

Public building, energy saving, energy efficiency, enclosing structures, insulation layer.



А.Г. Гудков, А.И. Безрукова
Вологодский государственный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ГОРОДА СЫКТЫВКАРА

Разработана электронная модель системы водоснабжения центрального района г. Сыктывкара. Показана возможность обеспечить необходимое давление водопотребителей без увеличения напора насосной станции. Предложена схема оптимизации водопроводной сети для сокращения энергозатрат насосной станции.

Система водоснабжения, электронная модель, Сыктывкар.

Наружные водопроводные сети являются важнейшей частью системы подачи и распределения воды (СПРВ), необходимой для водоснабжения населенных мест или промышленных объектов. Кроме сетей, в СПРВ входят водоподъемные сооружения (насосные станции) и регулирующие и запасные емкости (резервуары).

Согласно действующему законодательству [1], генеральные схемы водоснабжения для городов с населением численностью более 150 тысяч жителей должны включать в себя электронные модели (ЭМ) СПРВ. Такие модели отражают в цифровом актуальном виде информацию о структуре и технико-экономическом состоянии систем водоснабжения, а также обеспечивают проведение расчетов необходимых гидравлических параметров. ЭМ является современным инструментом для анализа функционирования всей системы СПРВ, а также планирования ее развития, оптимизации и реконструкции.

Различают два вида ЭМ – детализированную и укрупненную. Детализированная ЭМ включает исчерпывающую информацию о всей городской системе водоснабжения. При построении укрупненной модели используется более простая условная схема моделирования расходования воды из водопроводной сети через узловое отборы. Расстановка расчетных узловых отборов производится в местах пересечения магистральных трубопроводов, а также в местах расположения крупных потребителей воды.

Главным препятствием для построения детализированной ЭМ СПРВ является отсутствие статистически корректных данных о режимах потребления воды. Для обеспечения круглосуточного мониторинга необходима обширная сеть автоматических датчиков давления, расхода и уровня воды значительной части водопотребителей. Обеспечить такое наблюдение у большинства организаций, эксплуатирующих водопроводные сети и сооружения (водоканалов) на сегодняшний день нет возможности.

Поэтому на первом этапе построения ЭМ обычно принимается решение о построении ее укрупненной версии, которая позволяет оценить и проанализировать работу магистральных трубопроводов, а также

важнейших насосных станций и емкостей. В дальнейшем, исходя из анализа и апробации модели, а также плана развития города и его инфраструктуры, разрабатываются перспективные ЭМ [2, с. 133].

Целью настоящей работы является анализ работы водопроводной сети СПРВ центрального района г. Сыктывкара на основе укрупненной ЭМ, определение проблемных точек по результатам численного эксперимента и разработка предложений для улучшения работы СПРВ с помощью оптимизации магистральных линий сети.

Краткая характеристика СПРВ. Рассматриваемая СПРВ является крупнейшей частью общей централизованной схемы водоснабжения г. Сыктывкара, обслуживает территорию общей площадью около 1000 га (34 % от территории города с централизованным водоснабжением). Подачу воды в водопроводную сеть центральной части города обеспечивает водопроводная насосная станция третьего подъема ВНС-3 общей производительностью 28–29 тысяч м³/сут. Насосы ВНС-3 питаются из трех резервуаров общей емкостью 7000 м³, куда насосной станцией второго подъема из водоочистных сооружений города подается чистая вода. В 2014 году ВНС-3 прошла глубокую модернизацию с заменой насосного оборудования и установкой пропорционального (по подаче) частотно-регулируемого привода (ЧРП), систем автоматического регулирования и контроля давления и расхода. Установленное на ВНС-3 автоматическое измерительное оборудование позволило собрать и в дальнейшем использовать корректные данные о водопотреблении центрального района.

Водопроводные сети СПРВ выполнены из стальных, чугунных и полиэтиленовых труб с высокой степенью износа, номинальный диаметр трубопроводов не превышает 500 мм. Проведенная в июне 2020 года санация участка на Октябрьском проспекте магистрального водовода диаметром 500 мм и длиной 640 м методом гибкого комбинированного рукава показала ощутимое уменьшение утечек и снижение потребного напора ВНС-3 [3].

Построение ЭМ. Для построения ЭМ были использованы сведения о почасовом водопотреблении

центрального района за октябрь 2020 г., топографические данные района, а также схемы водопроводных сетей СПРВ, полученные от ОАО «Сыктывкарский Водоканал».

Из доступных на сегодняшний день программных комплексов – платформ для разработки ЭМ (Bentley, MIKE URBAN, Zulu, ИСИГР и др.) – был выбран EPANET 2 как наиболее подходящий по ряду параметров (стоимость, функциональные возможности, простота освоения и др.). Основой построения расчетной схемы ЭМ явилась подробная схема расположения водопроводных сетей СПРВ на рисунке 1, из которой были выделены магистральные водоводы и переемы. Общая длина сетей СПРВ составляет около 114 км.

При построении упрощенной схемы СПРВ были исключены все домовые присоединения и внутриквартальные сети. В итоге получена схема, представленная на рисунке 2, с трубопроводами диаметрами от 100 до 500 мм. Общая длина сетей составила примерно 32,9 км. В местах соединения трубопроводных участков назначены 54 узловых точки, выделен 71 участок (трубопровод между узлами).

Для определения значений условных отборов, связанных к узлам упрощенной схемы, были обработаны данные часовых и суточных подач ВНС-3 за октябрь 2020 г. и рассчитаны минимальные, средние и максимальные отборы для каждого узла расчетной схемы.

При реализации ЭМ СПРВ в программе EPANET были использованы объекты четырех типов: трубопроводы, узлы, насосы и резервуары. Для вычисления потерь напора по длине трубопровода Δh выбрана формула Шези-Маннинга:

$$\Delta h = 4,66 \frac{n^2}{d^{5,33}} L, \text{ м}, \quad (1)$$

где n – коэффициент шероховатости по Маннингу (n для стали и чугуна принят 0,012, для полиэтилена – 0,009); d – диаметр трубопровода, м; L – длина трубопровода, м.

Как показано в [2, с. 193–194], результаты расчетов потерь напора по зависимости (1) практически совпадают с широко распространенными в отечественной практике степенными формулами Ф.А. Шевелева.

Напорно-расходная характеристика параллельной работы трех насосов Grundfos NB 250-350/362, установленных на ВНС-3, моделировалась по аппроксимирующей степенной формуле (данные для регрессии взяты по каталогу насосов производителя):

$$H = 39,4 - 4,461 \cdot Q^{2,18} 10^{-7}, \text{ м}, \quad (2)$$

где H – напор насосов, м; Q – суммарная подача насосов, м³/ч.



Рис. 1. Общая схема сетей СПРВ центрального района

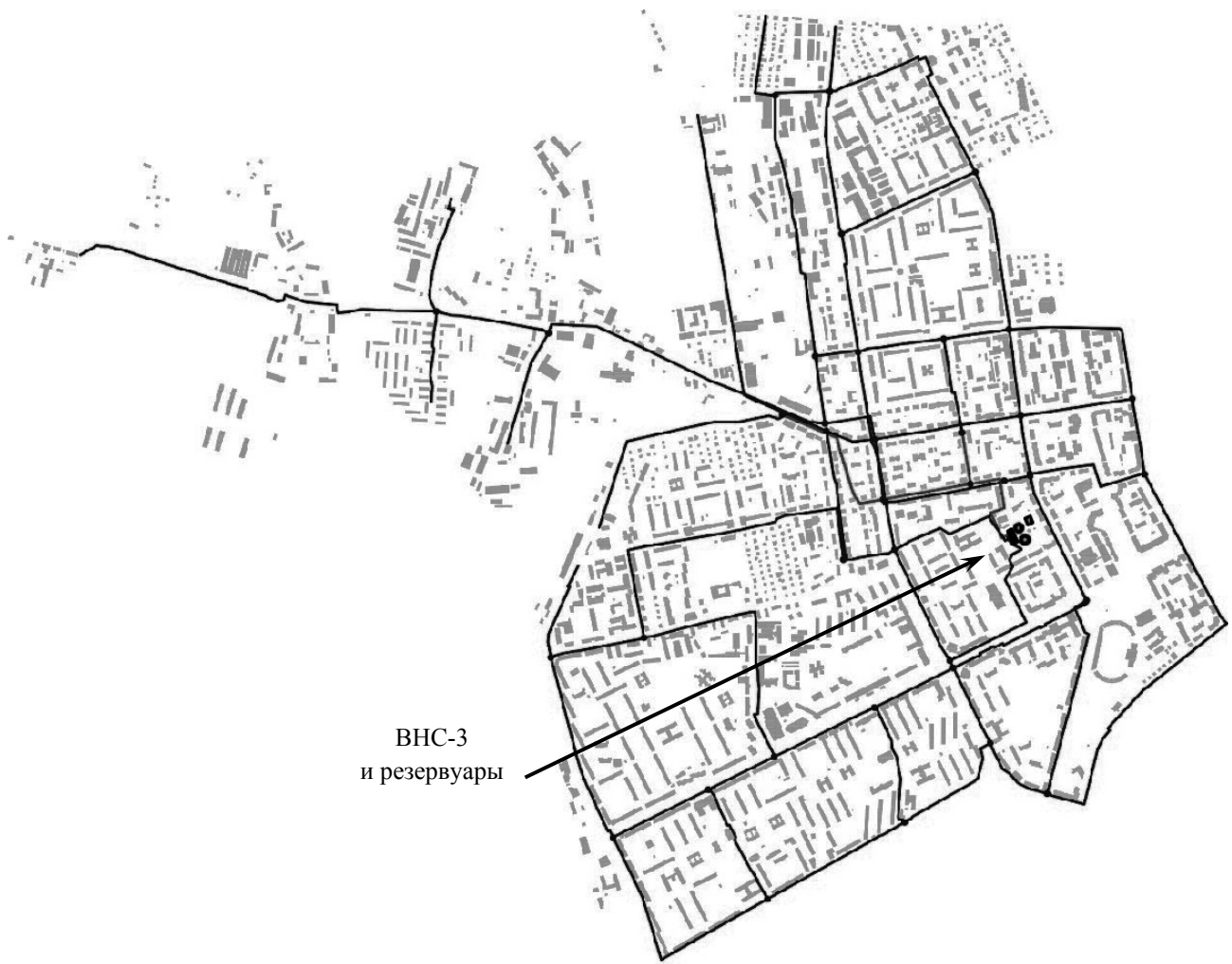


Рис. 2. Упрощенная расчетная схема СПРВ

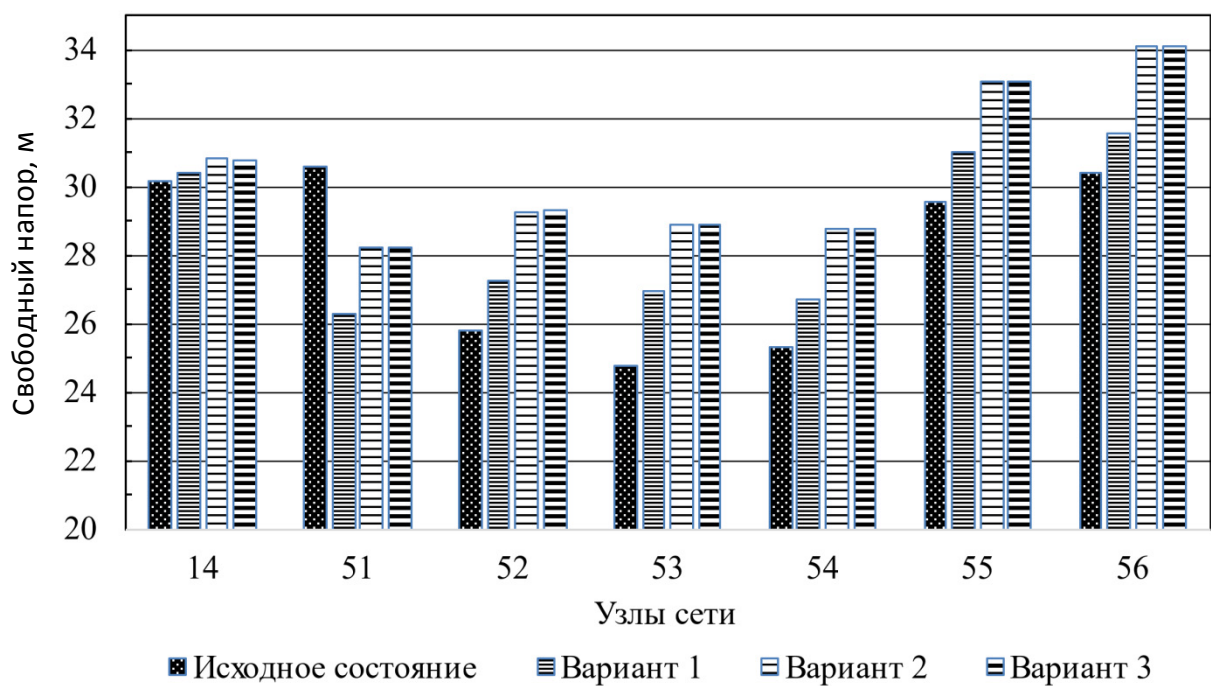


Рис. 3. Свободные напоры в 7-ми узлах сети СПРВ

Методика и результаты моделирования. Целью моделирования было определение давления (свободного или пьезометрического напора) во всех узлах СПРВ, а также удельных потерь напора, расходов и скоростей течения в трубопроводах СПРВ при известных узловых отборах. Рассчитанные значения анализировались, принималось решение о выборе направления оптимизации, изменялась конфигурация сети и материалы труб. Главными критериями оптимизации были обеспечение необходимого свободного напора для абонентов во всех узлах СПРВ, а также минимизация стоимости и продолжительности работ по реконструкции.

Для этого была проведена серия вычислительных экспериментов на ЭМ в программе EPANET при исходном состоянии входящих в СПРВ трубопроводных сетей и ВНС-3, а также по трем вариантам реконструкции сетей. Все вычисления были проведены для случая среднего за сутки водопотребления абонентами сети.

Моделирование при исходном состоянии СПРВ. Рассчитанные свободные напоры по 7 узлам СПРВ с наименьшими значениями приведены на графике «Исходное состояние» рисунка 3. Анализ полученных результатов показал, что в трех узлах – 52, 53, 54 – наблюдается давление (напор), меньше минимально

допустимого для жилых зданий в пять этажей (которое по строительным правилам [4] составляет 26 м). Для поддержания необходимого давления без реконструкции сетей требуется увеличить напор насосов на ВНС-3. Так как ВНС-3 оснащена насосными агрегатами с ЧРП, был подобран коэффициент увеличения частоты вращения рабочего колеса насосов, обеспечивающий минимальное давление, равный 1,02. При этом создаваемый напор ВНС-3 возрастает с 37,12 до 38,81 м. Такое решение не является рациональным, т.к. приводит к увеличению потребляемой ВНС-3 мощности и электроэнергии. Другим решением проблемы недостаточного давления является реконструкция отдельных и прокладка новых участков водопроводной сети СПРВ.

После анализа топологии сети и удельных потерь напора на ее участках было предложено три варианта оптимизации, которые рассмотрены ниже:

- прокладка трубопровода-перемычки между узлами 51–53;
 - реконструкция трубопровода на участке между узлами 56–57;
 - реконструкция трубопровода между узлами 4–5.
- На схеме сети (рис. 4) показаны места расположения реконструируемых участков и перемычки.

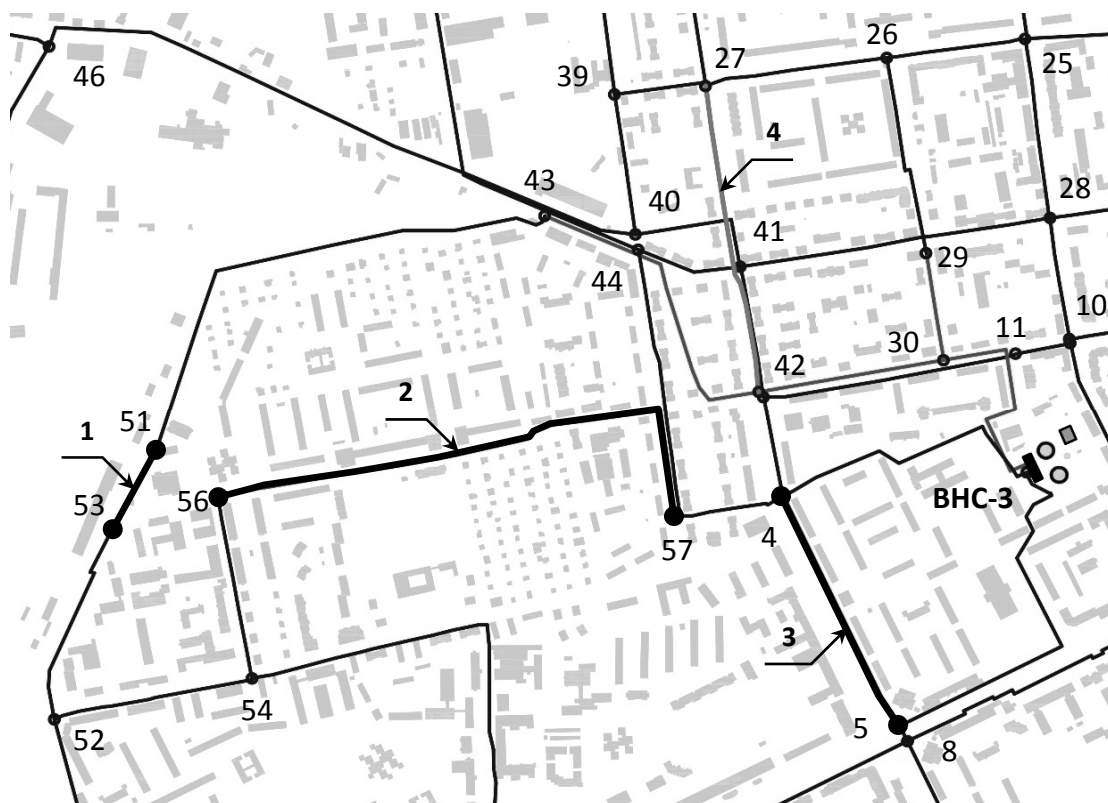


Рис. 4. Предлагаемые участки сети для оптимизации СПРВ
1 – перемычка 51–53; 2 – участок 56–57; 3 – участок 4–5;
4 – обновленный ранее участок 42–27

Вариант 1 – прокладка трубопровода-перемычки 51–53. Новый участок из полиэтиленовых труб диаметром 110 мм имеет длину 92 м (коэффициент шероховатости n для формулы (1) составляет 0,009). Моделирование узловых давлений в этом варианте показало, что после соединения узлов 51 и 53 перемычкой значительно увеличиваются свободные напоры в узлах 52, 53, 54 – «Вариант 1» на рисунке 3. Наименьшее значение напора в узле 51 составляет 26,28 м, что больше необходимого (26 м).

Вариант 2 – реконструкция участка 56–57 является дополнительным мероприятием к варианту 1 и предполагает замену старого стального трубопровода длиной 944 м номинальным диаметром 159 мм на полимерный трубопровод ПНД такого же размера, но с меньшим коэффициентом шероховатости. Результаты моделирования представлены на диаграмме «Вариант 2» рисунка 3. Наименьший свободный напор в узле 51 увеличивается до 28,21 м.

Вариант 3 – реконструкция участка 4–5. Для этого вариант 2 предлагается дополнить обновлением ветхого стального магистрального водовода диаметром 426 мм и длиной 443 м, который является продолжением уже санированного трубопровода на участке 42–27. Анализ результатов моделирования («Вариант 3» рисунка 3) показал, что давления в узлах изменились незначительно, поэтому такой вариант можно вынести на второй этап реконструкции сетей СПРВ.

Созданный «запас» превышения свободного напора в узле 51 позволяет сократить потребный напор, создаваемый насосами ВНС-3, до значения 34,11 м. Для этого можно уменьшить частоту вращения рабочего колеса каждого насоса до уровня 97 % от номинального режима. Наименьшее давление в узле 51 составит 26 м. Максимальный напор во всех трех вариантах оптимизации (56,14 м, узел 47) не превышает допустимого значения 60 м, установленного для наружной сети хозяйственно-питьевого водопровода [4].

Предполагаемое месячное уменьшение потребляемой электроэнергии ДЭ на ВНС-3 после внедрения мероприятий по варианту 3 составляет:

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{0,00272 \cdot Q_{\text{мес}} \cdot \Delta H}{\eta_n \eta_o} = \frac{0,00272 \cdot 914\,964 \cdot 4,7}{0,75 \cdot 0,92} = 16\,952 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{мес}}$ – суммарная подача насосов ВНС-3 за месяц (914 964 м³); ΔH – среднее за сутки уменьшение напора насосов (равное 38,81 – 34,11 = 4,7 м); 0,00272 – удельный расход энергии на подъем 1 м³ воды на 1 м, кВт;

η_n – КПД насоса, принимается равным 0,75; η_o – КПД двигателя, равное 0,92.

Перспективными вопросами, которые нуждаются в дальнейшей разработке, являются: калибровка ЭМ СПРВ, ее дополнительная доработка и детализация, а также внедрение в практику управления и оперативного контроля за работой системы водоснабжения города.

В данной работе получены следующие результаты:

- разработана упрощенная ЭМ СПРВ центрального района г. Сыктывкара, которая позволила выявить водопотребителей, для которых не обеспечивается минимальный свободный напор;

- по результатам проведенного моделирования и серии вычислительных экспериментов показана возможность обеспечить требуемое давление у самых неблагоприятно расположенных водопотребителей района без увеличения напора насосной станции;

- обоснована и предложена схема реконструкции трех участков водопроводной сети, которая в итоге сокращает потребный напор на ВНС-3 и затраты на электроэнергию.

Литература

1. О схемах водоснабжения и водоотведения: Постановление Правительства РФ от 5 сентября 2013 года № 782 (с изменениями на 22 мая 2020 года). – Текст электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 14.07.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Гудков, А. Г. Моделирование наружных сетей водоснабжения и водоотведения: монография / А. Г. Гудков, М. В. Павлов, Д. Ф. Карпов. – Вологда : ВоГУ, 2020. – 230 с.

3. Безрукова, А. И. Исследование влияния санации водовода на работу насосной станции / А. И. Безрукова; научный руководитель: А. Г. Гудков // Молодые исследователи – регионам : материалы Международной научной конференции (Вологда, 20–21 апреля 2021 г.) : в 3 т. / [Министерство науки и высшего образования Российской Федерации и др. ; главный редактор С. Ф. Митенева]. – Том 1. – Вологда : ВоГУ, 2021. – С. 350–352.

4. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* (с Изменениями № 1–5) : введен 26.06.2019. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 14.07.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

A.G. Gudkov, A.I. Bezrukova
Vologda State University

MODELING AND OPTIMIZATION OF WATER DISTRIBUTION NETWORK FOR CENTRAL DISTRICT IN SYKTYVKAR

An electronic model of the water supply system in the central district of Syktyvkar has been developed. It is shown that it is possible to provide the required pressure for water consumers without increasing the pumping station head. A scheme for optimizing the water supply network to reduce the energy consumption of a pumping station is proposed.

Water supply system, electronic model, Syktyvkar.



Л.И. Огородов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
В.А. Шапкина
Вологодский государственный университет

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОСЛЕ МНОГОЛЕТНЕГО ЕСТЕСТВЕННОГО СТАРЕНИЯ

Представлены механические характеристики полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) при растяжении после 47 лет естественного старения образцов без доступа солнечного света. Оценивается влияние на механические характеристики полиэтилена длительности старения, толщины плоских образцов и скорости деформирования. Полученные результаты сравниваются с данными опытов на образцах в состоянии поставки и после восемнадцати лет естественного старения. Дано сравнение механических характеристик нестабилизированного и стабилизированного двухпроцентным содержанием сажи полиэтилена.

Полиэтилен низкой плотности, многолетнее старение, растяжение, механические характеристики.

Основной причиной, вызывающей старение полимеров, является реакционная способность молекулярной цепи, возникающая под действием на нее физических и химических факторов. К физическим факторам относят тепло, свет, ионизирующие излучения, механические нагрузки, к химическим – кислород, воду и другие агрессивные агенты [1]. В рамках данного исследования интерес представляют механические нагрузки и кислород. Эти факторы, действуя как раздельно, так и одновременно, вызывают в полимерах радикально-цепные реакции, в том числе реакции окисления, сшивания. Скорость, с которой развиваются реакции старения, и их направления определяются молекулярным строением и надмолекулярной структурой полимеров. Различают два типа процессов, развивающихся при старении полимеров – деструкцию и структурирование. Почти во всех видах старения принимает участие кислород, т.е. происходит окислительная деструкция полимера, которая в каждом конкретном случае отличается по величине энергии активации.

Надежность полимеров является крайне важной проблемой при их использовании в строительных конструкциях. В работе [2] приведены результаты испытаний винипласта (ВП) при сжатии после длительного старения (24 года). Снижение предела прочности при сжатии состаренного материала достигло 20 %, модуля упругости – 49 %, предельные деформации повысились на 90 %, причем при испытаниях до старения наблюдалось повышение сопротивления разрушению с возрастанием скорости деформирования, а после старения такой закономерности не наблюдалось. Значения предела прочности и модуля упругости ВП при растяжении после длительного старения (24 года) повысились на 20 %.

Хранение образцов полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) в течение четырех лет не привело к изменению предельных напряжений и деформаций при растяжении, но модуль упругости материала снизился на 40 %.

Модуль упругости политетрафторэтилена (ПТФЭ) при растяжении после хранения образцов в течение пяти лет снизился на 16 %.

Предел прочности полистирола после естественного старения образцов в течение 20 лет увеличился в 2,4 раза.

Большое практическое значение имеют данные по длительной и усталостной прочности материалов после многолетнего старения. Приведем некоторые результаты. Параметр в кривой длительной прочности $\sigma = A - B \lg \tau$ Трубчатых образцов ПВХ при плоском напряженном состоянии после естественного старения при хранении образцов в течение 24 лет увеличился в 1,5 раза [2]. Длительная прочность трубчатых образцов ПТФЭ после четырех лет хранения повысилась, но незначительно.

Повышение длительной прочности полистирола в результате естественного старения образцов в течение 20 лет достигает трехкратной величины [3]. Разрушение образцов носило хрупкий характер.

В работе [4] представлены результаты испытаний на длительную и усталостную прочность полиэтиленовых труб в условиях плоского напряженного состояния после 8 лет хранения в бухтах. В рамках магистерской программы обучения (П.В. Блинков) проведены испытания стандартных образцов в форме лопатки, изготовленных из заготовок тех же труб ПЭВП, а также образцов ПЭВП поставки 2017 года при растяжении. Получены механические характеристики состаренного (28 лет) ПЭВП и ПЭВП новой поставки: предел текучести – 15,6 МПа и 18,8 МПа, предел прочности – 19,3 МПа и 19,7 МПа, модуль упругости – 310 МПа и 350 МПа, предельная деформация – 469 % и 525 % соответственно.

Практическая значимость настоящего исследования заключается в определении экспериментальных данных ПЭНП после естественного длительного старения в течение 47 лет, анализе влияния на него различных факторов и использовании полученных результатов в прогнозировании долговечности протифильтрационных элементов для различных конструкций.

Задачи работы:

1. Определить экспериментальным путем механические характеристики ПЭНП при растяжении после 47 лет естественного старения образцов.

2. Оценить влияние естественного старения в течение 47 лет, размеров образцов ПЭНП при растяжении, ориентации образцов относительно направления экструзии пленки, а также скорости деформирования на механические характеристики.

Образцы ПЭНП изготовлены в комплексной лаборатории Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева в 1971–1972 гг. Они имели форму лопатки с длиной рабочей части 25 мм и 30 мм, шириной 3,5 мм и 6,5 мм. Толщина образцов колебалась в широких пределах от 0,09 мм до 0,6 мм. Образцы ПЭНП и стабилизированного 2 %-ым содержанием сажи ПЭНП ориентированы вдоль и поперек направления экструзии пленки. Испытания образцов одноосным растяжением (ГОСТ 11262-80, ГОСТ 9550-81) осуществлялись на установке INSTRON 5966 с разными скоростями смещения захватов (V , мм/мин) с записью диаграмм деформирования материала.

В зависимости от толщины образцы материала группировались по три образца (использовался микроскоп I класса точности по ГОСТ 6507-90). Одна партия образцов ПЭНП выполнена сваркой импульсным ползком двух слоев пленки толщиной 0,1 мм с пленкой толщиной 0,4 мм. Результаты опытов представляются средними значениями механических характеристик ПЭНП (σ_T – предел текучести, σ_p – предельное напряжение при разрушении, ϵ_p – предельная деформация при разрушении и E_p – модуль упругости при растяжении).

Результаты испытаний образцов представлены в таблицах 1–5. Значения толщины образцов (δ) представлены округленными величинами. Практически все образцы имели отрицательное отклонение толщины до 0,05 мм.

Таблица 1

Механические характеристики образцов стабилизированного 2 %-ым содержанием сажи ПЭНП после естественного старения в течение 47 лет

V , мм/мин	δ , мм	Направление экструзии	σ_T , МПа	σ_p , МПа	ϵ_p , %
20	0,2	вдоль	10,86	15,05	369
		поперек	9,40	10,83	382
	0,3	вдоль	9,02	14,42	627
		поперек	8,99	13,74	687
50	0,2	вдоль	10,65	13,51	396
		поперек	10,08	11,16	421
	0,3	вдоль	10,36	15,74	632
		поперек	9,44	11,37	527
	0,6	вдоль	8,74	15,80	794
		поперек	8,99	13,51	726
100	0,2	вдоль	10,06	16,43	696
	0,3	вдоль	11,86	19,39	658
		поперек	10,21	15,58	773
20	0,2–0,3	вдоль	9,94	14,74	498
		поперек	9,20	12,28	534
50	0,2–0,3	вдоль	10,30	14,62	514
		поперек	9,76	11,26	477
100	0,2–0,3	вдоль	10,96	17,91	677
		поперек	10,26	15,58	773

Механические характеристики образцов стабилизированного ПЭНП при скорости деформирования 20 мм/мин и 50 мм/мин изменяются незначительно

(средние значения характеристик вдоль экструзии $\sigma_T=10,22$ МПа, $\sigma_p=14,68$ МПа, $\epsilon_p=506$ % и поперек экструзии $\sigma_T=9,48$ МПа, $\sigma_p=11,77$ МПа, $\epsilon_p=504$ %). Предельные напряжения и деформации стабилизированного ПЭНП при скорости деформирования 100 мм/мин выше на 22 % и 33 % образцов вдоль экструзии пленки и на 32 %, 53 % образцов поперек экструзии соответственно относительно меньших скоростей деформирования.

Предел текучести и предел прочности образцов стабилизированного ПЭНП вдоль экструзии пленки выше в среднем на 7 % и на 22 % соответственно. Предельные деформации образцов вдоль экструзии практически в большинстве опытов меньше, чем образцов поперек экструзии.

Таблица 2

Механические характеристики нестабилизированного ПЭНП после естественного старения в течение 47 лет

δ , мм	Направление экструзии	σ_T , МПа	σ_p , МПа	ϵ_p , %
0,1	вдоль	7,76	10,69	472
0,2	вдоль	7,98	10,98	465
0,4	вдоль	8,22	11,85	558
	поперек	7,68	11,22	716
0,1+0,1	сварное соединение	7,51	10,37	392

Влияние толщины образцов нестабилизированного ПЭНП на механические характеристики незначительны, что также отмечалось в работах [5, 6]. Характеристики текучести и прочности образцов нестабилизированного ПЭНП толщиной 0,4 мм выше не более чем на 5 %, а предельные деформации больше на 19 % по сравнению с механическими характеристиками тонких образцов. Дополнительные сведения по сравнению механических характеристик ПЭНП представлены в таблице 3.

Таблица 3

Разница (в %) механических характеристик образцов поперек экструзии нестабилизированного (*) и стабилизированного ПЭНП относительно характеристик образцов, ориентированных вдоль экструзии

V , мм/мин	δ , мм	σ_T	σ_p	ϵ_p
20	0,2	-13,4	-28,0	+3,5
	0,3	-0,3	-4,7	+9,6
50	0,2	-5,3	-17,4	+6,3
	0,3	-8,9	-28,8	-16,6
	0,6	+2,9	-14,5	-8,6
100	0,3	-12,4	-19,6	+17,5
50*	0,4*	-4,4	-1,1	+28,3
20–100	0,2–0,6	-6,0	-16,3	+5,7

В таблицах 4 и 5 сопоставлены результаты испытаний образцов стабилизированного и нестабилизированного ПЭНП в состоянии поставки (I), после 18 лет естественного старения (II), после предварительного нагружения [5, 6] растягивающей нагрузкой разной величины в течение 189–194 месяцев (III) и после естественного старения в течение 47 лет (IV).

Таблица 4

**Механические характеристики
стабилизированного ПЭНП
при разных условиях хранения и нагружения**

Состояние материала	Вдоль экструзии пленки				Поперек экструзии пленки			
	$\sigma_{рг}$, МПа	σ_p , МПа	ε_p , %	E_p , МПа	$\sigma_{рг}$, МПа	σ_p , МПа	ε_p , %	E_p , МПа
I	8,76	16,32	455	111	8,48	15,35	520	103
II	-	14,90	476	-	-	12,90	352	-
III	5,23	15,16	306	131	4,30	13,39	502	81
IV	-	13,51	596	-	-	11,16	421	-

Таблица 5

**Механические характеристики
нестабильизированного ПЭНП
в состоянии поставки и после естественного
старения в течение 47 лет**

Состояние материала	Вдоль экструзии пленки			
	δ , мм	$\sigma_{рг}$, МПа	σ_p , МПа	ε_p , %
I	0,05	7,98	15,34	317
III	0,10	7,76	10,69	472
IV	0,20	7,98	10,98	465

Выводы:

1. Влияние толщины образцов на механические характеристики ПЭНП после естественного старения в течение 47 лет несущественно.

2. После естественного старения в течение 47 лет образцов стабилизированного ПЭНП независимо от их толщины при скорости деформирования 20–100 мм/мин предел текучести и предел прочности образцов поперек экструзии пленки ниже примерно на 6 % и на 16 %, а предельные деформации – выше на 6 % относительно образцов вдоль экструзии.

3. Естественное старение образцов стабилизированного ПЭНП в течение 18 лет приводит к снижению предельных напряжений примерно на 9 % (вдоль экструзии) и на 16 % (поперек экструзии), а при даль-

нейшем старении до 47 лет снижение достигает 11 % (вдоль экструзии) и 18 % (поперек экструзии) по сравнению с механическими характеристиками ПЭНП в состоянии поставки. Предельные деформации ПЭНП вдоль экструзии пленки увеличиваются на 5 % и на 31 % при разной продолжительности старения, а образцов поперек экструзии снижаются на 32 % и 19 %.

4. Естественное старение в течение 47 лет нестабилизированного ПЭНП вдоль экструзии приводит к снижению предельных напряжений на 29 % и к повышению предельных деформаций – на 48 %.

Литература

1. Кириллова, Э. Н. Старение и стабилизация термопластов / Э. Н. Кириллова, Э. С. Шульгина. – Ленинград : Химия, 1988. — 240 с.

2. Павлов, П. А. Длительное сопротивление полимерных и композиционных материалов с учетом многолетнего старения / П. А. Павлов, Л. И. Огородов // Механика композитных материалов. – 1991. – № 4. – С. 692–696.

3. Павлов, П. А. Влияние естественного старения на прочность полистирола / П. А. Павлов, Л. И. Огородов, А. И. Алексейцев // Прочность и устойчивость инженерных конструкций : межвузовский сборник. – Барнаул, 1991. – С. 72–77.

4. Павлов, П. А. Длительная прочность полиэтиленовых труб в условиях плоского напряженного состояния после длительного хранения в бухтах / П. А. Павлов, Л. И. Огородов, А. И. Алексейцев // Известия вузов. Строительство. – 1992. – № 9. – С. 144–147.

5. Шапкина, В. А. Механические характеристики полиэтилена низкой плотности, используемого в противодиффузионных конструкциях / В. А. Шапкина, Л. И. Огородов // Известия вузов. Строительство. – 2016. – № 10–11. – С. 112–118.

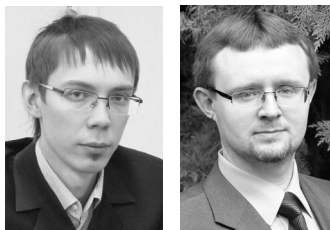
6. Огородов, Л. И. Механические характеристики полиэтилена / Л. И. Огородов, О. В. Лустина // Инженерно-строительный журнал. – 2017. – № 6 (74). – С. 17–32 (англ.).

*L.I. Ogorodov, V.A. Shapkina
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
Vologda State University*

**MECHANICAL CHARACTERISTICS OF LOW-DENSITY POLYETHYLENE UNDER TENSION
AFTER MANY YEARS OF NATURAL AGING**

The mechanical characteristics of low-density polyethylene under tension after 47 years of natural aging of samples without access to sunlight are presented. The effect of aging duration, thickness of flat specimens and strain rate on the mechanical characteristics of polyethylene is estimated. The obtained results are compared with the data of experiments on samples in the state of delivery and after eighteen years of natural aging. A comparison of the mechanical characteristics of polyethylene, which is not stabilized and stabilized with a 2 % soot content is made.

Low-density polyethylene, long-term aging, stretching, mechanical characteristics.



М.В. Павлов, Д.Ф. Карпов
 Вологодский государственный университет

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КУЛЬТИВАЦИОННОГО СООРУЖЕНИЯ С КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ОТОПЛЕНИЯ

В статье рассмотрено решение уравнения теплового баланса комбинированной системы отопления культивационного сооружения на примере современной промышленной теплицы. Исследованы составляющие теплового баланса, включая искомые температуры приточного воздуха и внутренней поверхности ограждения промышленной теплицы, а также их изменение в зависимости от температуры наружного воздуха в течение отопительного сезона (для климатических условий города Вологды). По результатам количественной оценки теплового баланса культивационного сооружения предложены мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности системы отопления.

Комбинированная система отопления, газовый инфракрасный излучатель, газовый воздухонагреватель, культивационное сооружение, уравнение теплового баланса.

Для культивационных сооружений, где температура поверхности почвы играет не менее важную роль, чем температура внутреннего воздуха, особый интерес представляют системы инфракрасного обогрева. В отличие от конвективных систем отопления, тепловая энергия концентрируется не в верхней части помещения, а организованно поступает в зону облучения [1]. По данным [2] срок окупаемости инфракрасных систем отопления составляет 1,5÷2,0 года. При этом урожайность на 1 м² площади теплицы возможно увеличить на 30÷40 %, а затраты на энергопотребление – уменьшить на 20÷25 %. Тем не менее, в отличие от традиционных систем отопления (водяных, воздушных и даже электрических), системы инфракрасного обогрева являются самыми малоизученными [3].

Значительные расходы тепловой энергии на отопление культивационных сооружений (порядком 30÷60 % от общих производственных затрат) вынуждают искать пути повышения энергетической эффективности их работы. Например, это может быть утилизация теплоты воздуха в случае использования рециркуляционной системы отопления [4] или утилизация теплоты, основанная на прокачке нагретого воздуха через систему подпочвенных труб [5]. Применение низкопотенциальной теплоты воздуха и грунта для отопления теплиц в зимний период года также является одним из способов уменьшения потребления невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов [6].

Подробное описание принципиальной схемы работы комбинированной системы культивационного сооружения приведено в работе [7].

Комбинированная система отопления культивационного сооружения включает в себя два различных источника теплоты: газовый инфракрасный излучатель и газовый воздухонагреватель. Применение в качестве энергоносителя газообразного топлива оправдывает себя тем, что, во-первых, это экономически целесообразный подход (в сравнении с электрической энергией),

а во-вторых, углекислый газ (CO₂), образованный в ходе сгорания газообразного топлива, может быть использован для осуществления фотосинтетических реакций. Применение газового инфракрасного излучателя в качестве единственного источника теплоты в культивационном сооружении, как показали расчеты, является недостаточным: при низких температурах наружного воздуха температура воздуха в помещении существенно ниже нормативных значений. Следовательно, основное назначение газового инфракрасного излучателя – это нагрев потоком инфракрасных лучей поверхности почвы и поддержание ее температуры. Отраженная часть тепловой энергии от поверхности почвы и дополнительный поток теплоты от газового воздухонагревателя расходуются на поддержание требуемой температуры внутреннего воздуха. Таким образом, именно лучисто-конвективная (комбинированная) система отопления за счет своей автономности, автоматизации в работе и энергетической эффективности может стать новым инженерным подходом в области теплоснабжения культивационных сооружений.

Уравнение теплового баланса культивационного сооружения с комбинированной системой отопления имеет вид:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{изл}} + Q_{\text{ен}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{гр}}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{общ}}$ – общая (суммарная) тепловая мощность комбинированной системы отопления культивационного сооружения, Вт; $Q_{\text{изл}}$ – тепловая мощность газового инфракрасного излучателя, Вт; $Q_{\text{ен}}$ – тепловая мощность газового воздухонагревателя, Вт; $Q_{\text{огр}}$ – потери теплоты теплопередачей через ограждение культивационного сооружения, Вт; $Q_{\text{вент}}$ – потери теплоты с вентиляционным воздухом, уходящим из культивационного сооружения через вытяжной вентиляционный проем, Вт; $Q_{\text{гр}}$ – потери теплоты в грунт, Вт.

Для расчета комбинированной системы отопления культивационного сооружения дополнительно требуется уравнение теплового баланса поверхности почвы, которое связывает между собой не только тепловые, но и массообменные процессы, происходящие на ее поверхности:

$$\frac{A_1 Q_{изл}}{1 - k_{отр}} = Q_{луч} + Q_{конв} + Q_{исп} + Q_{эп}, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где $k_{отр} = (1 - A_1)(1 - A_2) \frac{\varphi_{21}}{1 - \varphi_{22}(1 - A_2)}$ – коэффициент, учитывающий многократное отражение теплового излучения от поверхности почвы и внутренней поверхности ограждения культивационного сооружения; A_1 и A_2 – соответственно коэффициенты поглощения поверхности почвы и внутренней поверхности ограждения культивационного сооружения; φ_{21} – коэффициент облученности с внутренней поверхности ограждения культивационного сооружения на поверхность почвы; φ_{22} – коэффициент самооблученности внутренней поверхности ограждения культивационного сооружения; $Q_{луч}$ – результирующее тепловое излучение, возникающее между поверхностью почвы и внутренней поверхностью ограждения культивационного сооружения, Вт; $Q_{конв}$ – тепловой поток, вызванный конвективным теплообменом между поверхностью почвы и приземным слоем воздуха в культивационном сооружении, Вт; $Q_{исп}$ – тепловой поток, расходуемый на испарение влаги с поверхности почвы, Вт.

Рассмотрим на примере промышленной теплицы «Фермер 7.5» (схема теплицы приведена в работе [7]) решение уравнения теплового баланса культивационного сооружения с комбинированной системой отопления (1).

Исходные данные для выполнения расчета:

1. Размеры (габариты) промышленной теплицы: ширина $a = 7,45 \text{ м}$; длина $b = 8,40 \text{ м}$; высота (в верхней точке помещения) $h = 3,80 \text{ м}$.

2. Расчетные параметры внутреннего воздуха: температура $t_{вн.в} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$; относительная влажность $\varphi_{вн.в} = 75 \%$.

3. Параметры поверхности почвы: температура $t_{пов} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$; коэффициент поглощения инфракрасного излучения $A_1 = 75 \%$.

4. Параметры ограждения промышленной теплицы: термическое сопротивление ограждения $R_{отр} = 0,25 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; коэффициент поглощения инфракрасного излучения $A_2 = 94 \%$.

5. Расчетные параметры наружного воздуха для условий города Вологды (по данным СП 131.13330.2018): температура $t_{вн.в} = -32 \text{ }^\circ\text{C}$; относительная влажность $\varphi_{вн.в} = 85 \%$.

6. Параметры вентиляции: принудительная система вентиляции с механическим побуждением; кратность воздухообмена $n_g = 1,0 \text{ м}^3/\text{мин}$ на 1 м^2 расчетной площади поверхности почвы (минимальная кратность воздухообмена для индивидуальных теплиц круглогодичного использования).

7. Параметры орошения: равномерно орошается вся поверхность почвы в промышленной теплице.

Расчет комбинированной системы отопления промышленной теплицы «Фермер 7.5» выполнен в математическом редакторе «Mathcad».

На рисунке 1 представлена зависимость расчетных тепловых потерь в промышленной теплице $Q_{отр}$, Вт, $Q_{вент}$ и $Q_{гр}$ в соответствии с уравнением (1) от температуры наружного воздуха $t_{н.в}$, $^\circ\text{C}$, в течение отопительного сезона (для климатических условий города Вологды).

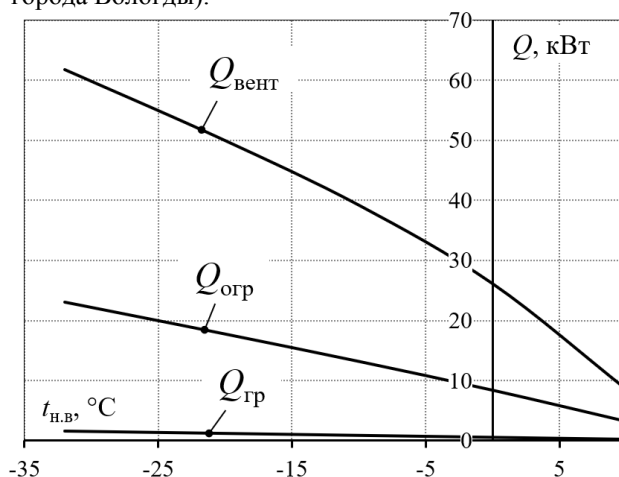


Рис. 1. Расчетные тепловые потери в промышленной теплице

Согласно рисунку 1, основная часть теплоты в промышленной теплице расходуется на нагрев приточного наружного воздуха (около 73 %). Причем в долевом соотношении величина $Q_{вент}$ практически не изменяется в течение всего отопительного сезона. Столь высокое значение тепловых потерь $Q_{вент}$ в тепловом балансе промышленной теплицы (1) можно объяснить не только низкой температурой наружного воздуха в холодный период года (воздух, обладая малой плотностью и удельной теплоемкостью, не требует больших затрат тепловой энергии на его нагрев), но и значительным его объемным расходом (около $3750 \text{ м}^3/\text{ч}$), требуемым для организации воздухообмена. При этом, исходя из площади поперечного сечения промышленной теплицы, составляющей примерно $21,80 \text{ м}^2$, средняя скорость воздушного потока в помещении не превышает $0,05 \text{ м}/\text{с}$. Тепловые потери через ограждение промышленной теплицы $Q_{отр}$ на первый взгляд кажутся незначительными (всего 26 % от суммарных тепловых потерь). Однако стоит понимать, что термическое сопротивление конструкции $R_{отр} = 0,25 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (данное значение характерно для сотового поликарбоната, широко применяемого на практике, с примерной толщиной листа $10 \div 12 \text{ мм}$) имеет малое значение (для сравнения термическое сопротивление наружной стены жилого здания равно $2,5 \div 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, окна – $0,6 \div 0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$). Тем не менее, благодаря полимерному материалу и применению специальных ячеек, заполненных воздухом, сотовый поликарбонат обладает сравнительно высоким уровнем тепловой изоляции (в отличие от органического стекла, монолитного поликарбоната и, тем более, полиэтиленовой пленки). Тепловые потери в грунт (около 1 %), ввиду ничтожно малой величины

в тепловом балансе за счет большого сопротивления теплопередаче грунта (значение лежит в диапазоне от 2,1 до 14,2 м² · К/Вт), особого интереса не представляют.

В уравнение (2) входят тепловые потоки $Q_{луч}$, Вт, $Q_{конв}$ и $Q_{исп}$ (рис. 2).

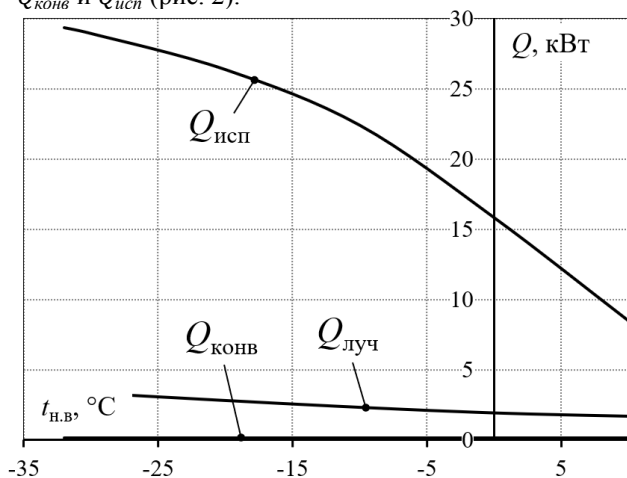


Рис. 2. Расчетные тепловые потоки в промышленной теплице

Если касаться лучистого теплообмена в промышленной теплице, не рассматривая газовый инфракрасный излучатель как активный источник теплового излучения, то известно, что его интенсивность определяется температурами поверхностей тел, участвующих в теплообмене (в данном случае почвы и ограждения промышленной теплицы). На рисунке 3 представлен график изменения расчетной температуры внутренней поверхности ограждения промышленной теплицы $t_{огр}$, °C, в течение отопительного сезона.

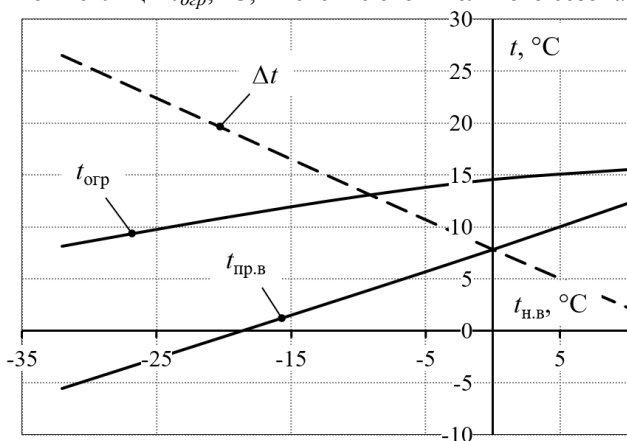


Рис. 3. Расчетные температуры в промышленной теплице

Так как температура поверхности почвы является постоянной величиной (в данном случае $t_{нов} = 22$ °C), то тепловой поток излучением $Q_{луч}$ будет напрямую определяться температурой $t_{огр}$. В соответствии с графиком, представленным на рисунке 3, можно установить, что с ростом температуры наружного воздуха $t_{н.в}$ постепенно увеличивается температура ограждения промышленной теплицы $t_{огр}$, что, в свою очередь, отражается на уменьшении величины $Q_{луч}$. Так как при проектировании комбинированной системы ото-

пления культивационного сооружения температуры внутреннего воздуха $t_{вн.в}$ и поверхности почвы $t_{нов}$ должны оставаться постоянными величинами, то тепловой поток от конвективного теплообмена между ними $Q_{конв}$ также будет оставаться неизменным (в данном случае составляет 0,15 кВт). Как видно из рисунка 2, основная часть теплоты, идущая от источников теплоты промышленной теплицы (газового инфракрасного излучателя и газового воздухонагревателя) будет расходоваться на испарительные процессы на поверхности почвы $Q_{исп}$. Дело в том, что тепловой поток $Q_{исп}$ напрямую зависит от расхода воды на полив почвы. В свою очередь, последний зависит от кратности воздухообмена в помещении. На объемный расход воздуха (3750 м³/ч) в промышленной теплице приходится порядком 43,2 кг/ч влаги, удаляемой из помещения. Кроме того, вода требует значительных затрат тепловой энергии на процессы испарения (удельная теплота парообразования воды составляет примерно 2451 кДж/кг).

Вполне закономерно, подчиняясь линейному закону, ведет себя расчетная температура приточного вентиляционного воздуха $t_{пр.в}$, °C (рис. 3). С увеличением температуры наружного воздуха $t_{н.в}$ объяснимо снижаются тепловые потери в промышленной теплице и, как следствие, расход тепловой энергии на нужды отопления. Это касается не только тепловой мощности газового инфракрасного излучателя, но и газового воздухонагревателя. При фиксированной температуре внутреннего воздуха $t_{вн.в}$ с увеличением температуры наружного воздуха $t_{н.в}$ и соответствующим уменьшением суммарных тепловых потерь из помещения промышленной теплицы будет происходить постепенный рост температуры приточного воздуха $t_{пр.в}$. При этом определяющим фактором является даже не температура $t_{пр.в}$ (само значение не объясняет причину ее роста), а температурный перепад $\Delta t = t_{пр.в} - t_{н.в}$ при заданном расходе воздуха, который будет стремительно уменьшаться (рис. 3).

Исследование параметров работы комбинированной системы отопления культивационного сооружения, в частности тепловых потоков, в зависимости от различного рода факторов (в данном случае от температуры наружного воздуха $t_{н.в}$, °C) позволяет количественно оценить их величину и долю в тепловом балансе помещения. Это, в свою очередь, дает возможность определиться с выбором тех направлений и мероприятий по повышению энергетической эффективности культивационных сооружений, которые будут играть заметную роль. В рассмотренном случае (рис. 1) стоит акцентировать внимание на системе вентиляции и ограждения промышленной теплицы. Системное регулирование кратности воздухообмена в помещении с учетом действительных потребностей теплицы, а также поиск новых строительных материалов [8–10], позволяющих повысить уровень тепловой защиты культивационного сооружения, не снижая при этом прочие характеристики материала, например его светопропускание, могут стать эффективными технологиями в области энергосбережения [11, 12].

Литература

1. Беляева, Е. А. Преимущество в использовании инфракрасной системы отопления теплиц / Е. А. Беляева, А. А. Хальметов // Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения : материалы VIII Национальной конференции с международным участием. – Саратов : Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2018. – С. 46–48.
2. Липатов, А. В. Повышение эффективности систем отопления теплиц / А. В. Липатов, Е. В. Спиридонова, А. Ф. Фролов // Инновационные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении : материалы V Международной научно-практической конференции. – Саратов : ООО "Амирит", 2017. – С. 108–112.
3. Современный подход к отоплению теплиц / В. Б. Ловкис, Н. А. Деменок, О. В. Ловкис, О. Г. Мартинов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Минск : Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. – С. 334–342.
4. Кравченко, Ю. Г. Энергосбережение при совершенствовании системы отопления фермерских теплиц / Ю. Г. Кравченко, В. И. Чеботарев // Энергосбережение и водоподготовка. – 2006. – № 4 (42). – С. 73–74.
5. Оценка эффективности системы воздушного отопления в теплице / В. А. Кубис, С. В. Баканова, А. И. Еремкин, Н. А. Орлова // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2014. – № 17. – С. 188–192.
6. Дворный, В. В. Возможность использования низкопотенциального тепла грунта для отопления теплиц в зимний период года / В. В. Дворный, Н. С. Авджян, М. И. Милованов // Наука и образование: проблемы и стратегии развития. – 2017. – Т. 1, № 1 (3). – С. 62–63.
7. Павлов, М. В. Комбинированная система отопления зимней теплицы / М. В. Павлов, Д. Ф. Карпов // Вестник ВоГУ. Серия: Технические науки. – 2020. – № 4 (10). – С. 59–63.
8. Павлов, М. В. Инновационные теплоизоляционные материалы для энергосбережения и повышения энергетической эффективности объектов капитального строительства / М. В. Павлов, Д. Ф. Карпов, В. П. Березина // Проблемы экономического роста и устойчивого развития территорий: материалы V Международной науч.-практ. интернет-конференции, г. Вологда, 18–22 мая 2020 г. – Вологда : ФГБУН ВолНЦ РАН, 2020. – С. 224–227.
9. Патент 2530473 Российская Федерация, МПК G01N 25/18. Устройство и способ комплексного определения основных теплофизических свойств твердого тела : № 2013119005/28 : заявл. 23.04.2013 : опубл. 10.10.2014/ Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Синицын и др.; заявитель и патентообладатель Вологодский государственный университет. – Б. и. – 2014. – № 28.
10. Экспериментально-расчетное определение приведенного коэффициента теплопроводности фрагмента неоднородной ограждающей строительной конструкции из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе методом теплового неразрушающего контроля / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, В. И. Игонин, А. А. Кочкин // Вестник МГСУ. – 2011. – № 3, Т. 1. – С. 351–358.
11. Фокин, В. М. Основы энергосбережения в вопросах теплообмена : учебное пособие / В. М. Фокин. – Москва : Машиностроение-1, 2005. – 192 с.
12. Карпов, Д. Ф. Комплексная энергосберегающая диагностика технического состояния ограждающих конструкций объектов капитального строительства и инженерных систем на основе теплового контроля / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Синицын // Энергосбережение и водоподготовка. – 2020. – № 2 (124). – С. 29–33.

M.V. Pavlov, D.F. Karpov
Vologda State University

THERMAL BALANCE OF CULTIVATION FACILITY WITH COMBINED HEATING SYSTEM

The article deals with the combined heating system of a winter greenhouse, which includes two different sources of thermal energy: an infrared emitter and an air heater. The first heat source forms the required thermal conditions of the soil while the second creates the necessary conditions of the winter greenhouse inside, determined by the internal air temperature. Gas heating equipment is of particular interest, as in this case it is possible to recycle heat from combustion products of gaseous fuel and to obtain carbon dioxide (CO₂) for the plants photosynthesis reaction.

Combined heating system, gas infrared emitter, gas air heater, cultivation facility, heat balance equation.



С.А. Соловьев, А.А. Соловьева, Л.С. Шевцов
Вологодский государственный университет

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК И ПЛИТ ПОСЛЕ ПОЖАРА ПРИ НЕПОЛНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В исследовании предложен подход к оперативной оценке надежности изгибаемых железобетонных элементов по критерию прочности нормальных сечений после пожара с использованием теории выпуклых множеств. Приведено сравнение различных нормативных моделей и экспериментальных исследований снижения прочности бетона и стали арматуры после высокотемпературных воздействий. Путем численного моделирования методом Монте-Карло установлено, что предложенный подход дает более осторожную оценку надежности вследствие отсутствия информации о законах распределения случайных величин. Метод оценки надежности может быть использован для первичной оценки безопасности ликвидаций последствий пожара и проведения работ по выявлению категории технического состояния здания или сооружения.

Безопасность, надежность, пожар, теория выпуклых множеств, вероятность отказа, неопределенность, железобетонная балка.

В 2010 г. вступил в силу Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», в соответствии с которым механическая безопасность зданий и сооружений должна быть обеспечена на всех стадиях жизненного цикла здания или сооружения. Одной из мер механической безопасности зданий и сооружений может служить надежность их несущих элементов. В соответствии с ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований», надежность – это свойство строительного объекта выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации. В качестве показателя надежности элементов строительных конструкций зачастую применяется вероятность безотказной работы или вероятность отказа.

В работе [1] отмечается, что в РФ и за рубежом ежегодно происходит огромное количество пожаров в зданиях и сооружениях, что существенно влияет на снижение качества физико-механических свойств несущих конструкций зданий и сооружений. В соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» после пожара необходимо проведение обследования технического состояния здания или сооружения «по результатам последствий пожаров, стихийных бедствий, аварий, связанных с разрушением здания (сооружения)». Одной из проблем в данной сфере может являться оперативная оценка безопасности пребывания специалистов по ликвидации последствий пожара или специалистов по обследованию технического состояния в здании после пожара. В данной работе предлагается исследовать вопрос оценки надежности изгибаемых железобетонных элементов (балок и плит) по критерию прочности в условиях недостатка статистических данных

для использования известных вероятностно-статистических подходов анализа надежности.

В соответствии с СП 468.1325800.2019 «Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности», огнесохранность строительной конструкции – это способность строительной конструкции сохранять после пожара несущие и (или) ограждающие функции. Огнесохранность характеризует состояние ремонтпригодности конструкции без ее усиления после пожара. В исследовании профессора А.Г. Тамразяна [2] отмечено, что «несмотря на то, что проблема воздействия повышенных и высоких температур исследуется достаточно давно, до сих пор нет четкой методики расчета остаточной несущей способности железобетонных конструкций после пожара». В [3] также отмечается, что исследование подходов к оценке надежности строительных конструкций при огневом воздействии также требует дальнейшего развития.

Прочностные характеристики бетона и арматурной стали в железобетонных элементах снижаются после высокотемпературных воздействий [1]. Прочность бетона после остывания, как правило, ниже прочности бетона при огневом воздействии [4]. Это связано с тепловой инерцией бетона, когда внутренние слои железобетонной конструкции подвергаются воздействию повышенной температуры дольше, чем поверхностные; а также быстрым охлаждением железобетонных конструкций при тушении пожара, что приводит к дополнительным напряжениям в сечении [4].

Существуют различные подходы к моделированию снижения прочности бетона после пожара. На рисунке 1 приведены графики коэффициента остаточной прочности бетона Y после огневого воздействия (остывшего), которые используются для расчета огнесохранности железобетонных конструкций.

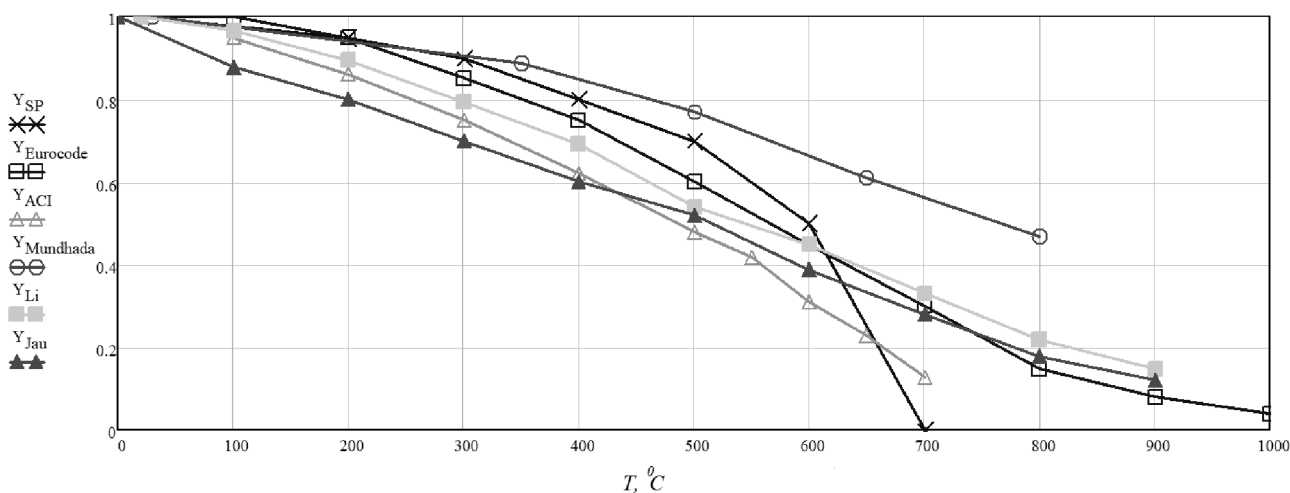


Рис. 1. Изменение коэффициента остаточной прочности остывшего бетона после огневого воздействия: Y_{SP} – по СП 468.1325800.2019, $Y_{Eurocode}$ – по Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1–2, Y_{ACI} – в соответствии с ACI 216.1-07 Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies, $Y_{Mundhada}$ – по экспериментальным исследованиям [5], Y_{Li} – по экспериментальным исследованиям [6], Y_{Jau} – по экспериментальным исследованиям [7]

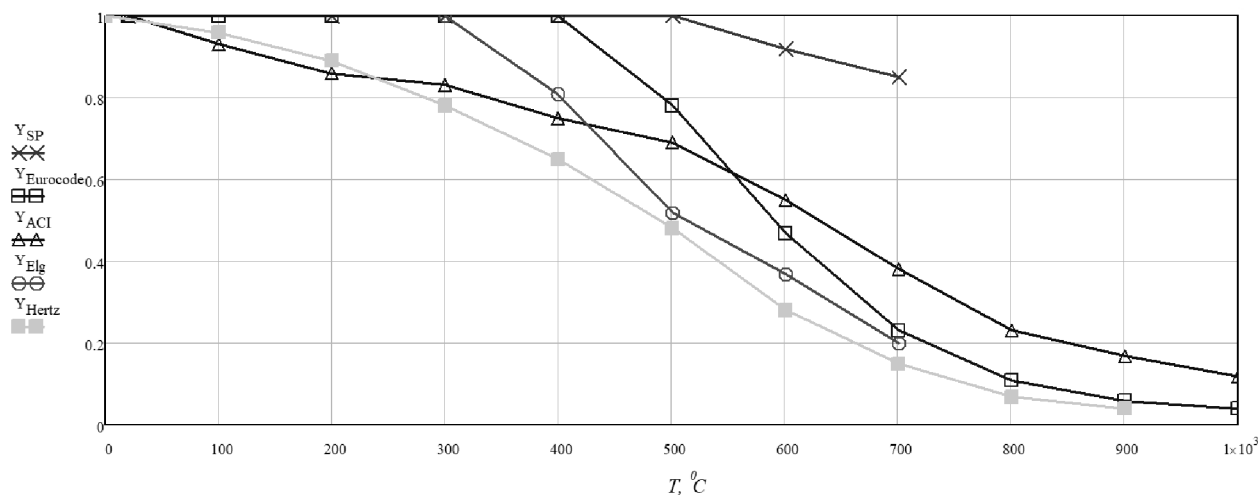


Рис. 2. Изменение коэффициента остаточной прочности стали арматуры после огневого воздействия: Y_{SP} – по СП 468.1325800.2019, $Y_{Eurocode}$ – по Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1–2, Y_{ACI} – в соответствии с ACI 216.1-07 Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies, Y_{Elg} – по экспериментальным исследованиям [8], Y_{Hertz} – по экспериментальным исследованиям [9]

Модели снижения прочности арматурной стали существенно различаются в зависимости от типа и вида арматуры, а также критерия предельного состояния – по пределу текучести или пределу прочности. На рисунке 2 представлены графики снижения прочности стали горячекатанной арматуры по пределу текучести.

Для оперативной оценки прочности бетона могут быть использованы неразрушающие методы контроля. Однако к ним (например, широко используемым методам ударного импульса или ультразвуковым методам) следует относиться очень осторожно при оценке изменения прочности бетона после пожара. Корреляционные зависимости между измеряемой величиной и последующей оценкой прочности бетона могут значительно отличаться для бетонов в нетиповых условиях эксплуатации и после особых воздействий. Наиболее точную оценку прочности бетона и арматурной

стали можно получить по контрольным образцам, вырезанным из исследуемой на надежность железобетонной конструкции. Однако данные мероприятия требуют определенных временных и финансовых затрат, а также ослабляют поперечные сечения конструкции.

В связи с этим предлагается рассмотреть аналитический подход к оперативной оценке надежности железобетонных балок и плит после пожара, на основе результатов которого может быть принято решение о дальнейшей безопасности производства работ по ликвидации последствий пожара и уточнению категории технического состояния здания.

Математическую модель предельного состояния по критерию прочности нормальных сечений изгибаемого железобетонного элемента можно записать в виде:

$$M \leq M_{ult} = R_s A_s (h_0 - 0,5x), \quad (1)$$

где M – изгибающий момент в сечении балки; R_s – расчетное сопротивление арматуры растяжению; A_s – площадь растянутой арматуры; h_0 – рабочая высота сечения железобетонной балки; x – высота сжатой зоны бетона балки, определяемая как $x = \frac{R_s A_s}{R_b b}$, R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию; b – ширина сечения балки.

Работу арматуры в сжатой зоне бетона в (1) не будем учитывать в запас надежности железобетонной балки при оперативной оценке.

После преобразований математическая модель предельного состояния (1) может быть представлена в виде функции

$$(2R_b b)^{-1} \leq \frac{h_0}{R_s A_s} - \frac{M}{(R_s^2 A_s^2)},$$

или

$$\frac{1}{2b} \left[\frac{h_0}{R_s A_s} - \frac{M}{(R_s^2 A_s^2)} \right]^{-1} \leq R_b. \quad (2)$$

Выражение (2) представляет собой функцию $R_b(R_s)$, которую удобно использовать при построении граничной функции предельного состояния.

Степень снижения расчетных сопротивлений бетона и арматуры зависит от температуры прогрева сечений изгибаемых железобетонных элементов. Температура нагрева бетона и арматуры в условиях оперативного анализа может быть оценена экспертом по визуальным признакам (СП 329.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила обследования после пожара») [10, 11] и первичным испытаниям [12].

С учетом комплексной оценки различных факторов экспертная оценка температуры прогрева железобетонного элемента может быть представлена в виде интервала значений $[\underline{t}_b; \bar{t}_b]$, где \underline{t}_b и \bar{t}_b – нижняя и верхняя границы температуры нагрева бетона железобетонного элемента. Следовательно, расчетное сопротивление бетона при сжатии также будет представлено в виде интервала значений $[\underline{R}_b; \bar{R}_b]$. В терминах теории надежности расчетное сопротивление бетона является случайной величиной $\tilde{R}_b(\tilde{t}_b)$ (рис. 1), зависящей от другой случайной величины – температуры прогрева \tilde{t}_b . Аналогичные выкладки могут быть использованы для расчетного сопротивления стали арматуры растяжению $\tilde{R}_s(\tilde{t}_s)$. Математическая модель предельного состояния (2) может быть записана в виде:

$$\frac{1}{2b} \left[\frac{h_0}{\tilde{R}_s(\tilde{t}_s) A_s} - \frac{M}{(\tilde{R}_s(\tilde{t}_s)^2 A_s^2)} \right]^{-1} \leq \tilde{R}_b(\tilde{t}_b). \quad (3)$$

Случайная величина в вероятностно-статистических подходах должна характеризоваться функцией распределения вероятностей с известными параметрами (или их оценками) в соответствии с ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований». Т.к. в рамках оперативной оценки имеется лишь интервал значений расчетных сопротивлений бетона и арматуры, то для анализа надежности воспользуемся специальным подходом, основанным на теории выпуклых множеств (convex sets [13]).

Для оценки надежности на основе теории выпуклых множеств с двумя случайными величинами используется следующий алгоритм. Оси абсцисс и ординат содержат значения случайных величин (рис. 3) – в данной задаче это расчетное сопротивление бетона и расчетное сопротивление стали арматуры. На графике отмечается область в виде прямоугольника (в случае некоррелированных случайных величин), границы которого сформированы интервальными оценками случайных величин. Площадь прямоугольника обозначается как A_{total} . Затем на графике строится функция предельного состояния g , которая в данной задаче будет иметь вид (2). $g = R_b(R_s)$

$= \frac{1}{2b} \left[\frac{h_0}{R_s A_s} - \frac{M}{(R_s^2 A_s^2)} \right]^{-1}$. Площадь, отсекаемая функцией, обозначается площадью отказа $A_{failure}$.

Оценка надежности (условной вероятности безотказной работы) представляет собой выражение:

$$P = 1 - \frac{A_{failure}}{A_{total}}, \quad (4)$$

где $\frac{A_{failure}}{A_{total}}$ интерпретируется как условная вероятность отказа.

Пусть необходимо дать оперативную оценку надежности железобетонной балки перекрытия без предварительного напряжения арматуры. Рабочая высота поперечного сечения балки $h_0 = 0,5$ м, ширина поперечного сечения балки $b = 0,2$ м. Балка армирована 4 стержнями $\phi 14$ мм, класс арматуры А400 ($R_s = 350$ МПа по СП 63.13330.2018). По проектной документации класс бетона балки В25 ($R_b = 14,5$ МПа по СП 63.13330.2018). Расчетный изгибающий момент в анализируемом сечении балки – $M = 86$ кН·м.

Для оценки снижения расчетного сопротивления бетона и стали арматуры после пожара используем модели СП 468.1325800.2019 (рис. 1, 2). Пусть экспертом установлены следующие температуры нагрева при пожаре: $[\underline{t}_b; \bar{t}_b] = [400; 550]$ °С и $[\underline{t}_s; \bar{t}_s] = [500; 650]$ °С. Тогда по моделям СП можно записать интервалы расчетных сопротивлений: $[\underline{R}_b; \bar{R}_b] = [8,7; 11,6]$ МПа, $[\underline{R}_s; \bar{R}_s] = [309,8; 350]$ МПа (рис. 3).

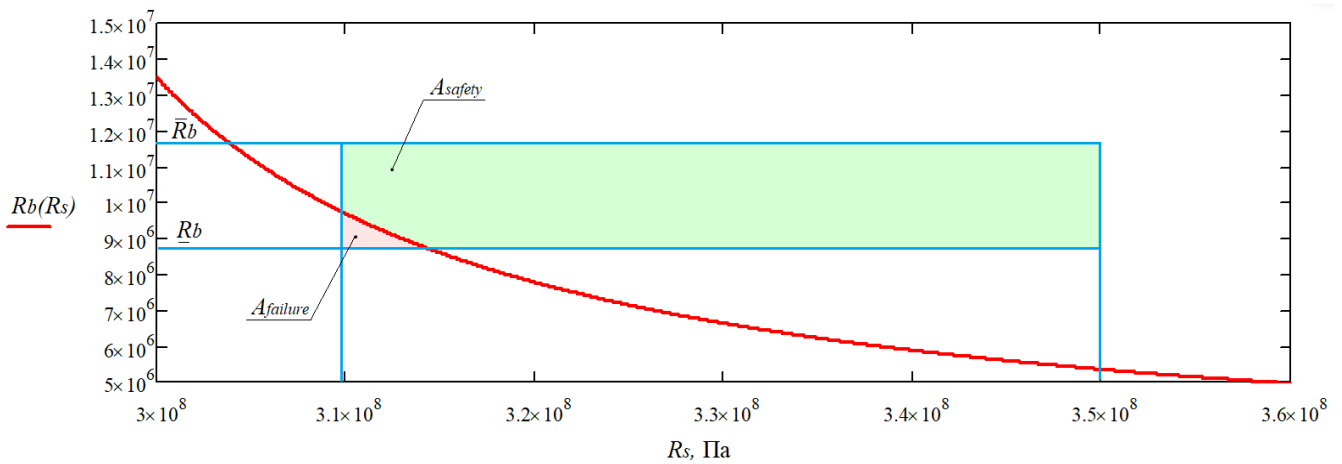


Рис. 3. Графическое представление решения задачи по оценке надежности по данным примера

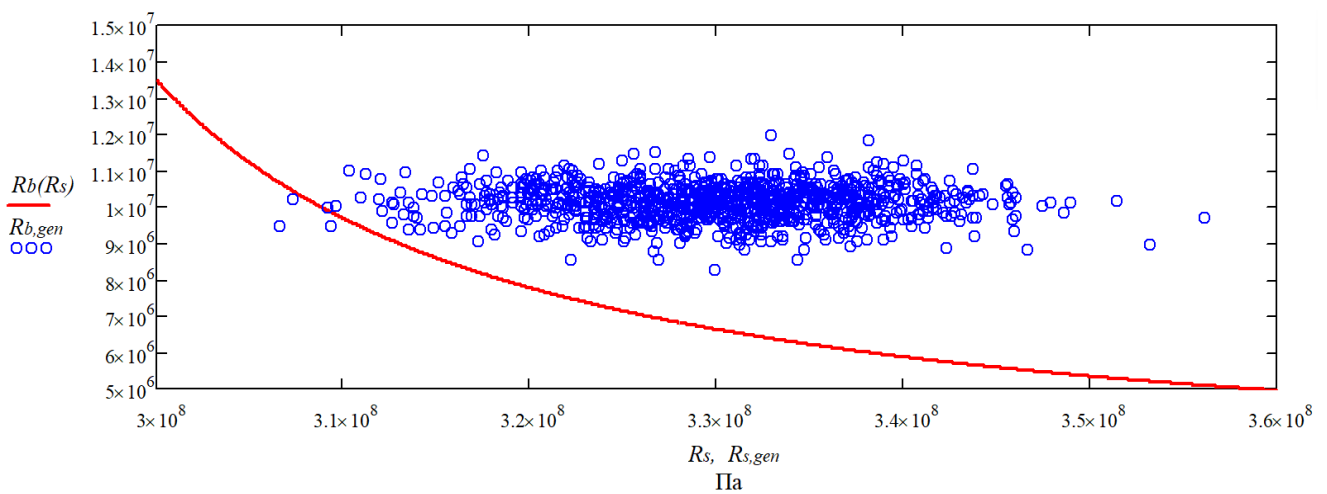


Рис. 4. Результат генерации 1000 значений комбинаций прочности бетона и арматуры железобетонной балки

Вычислим характерные точки:

$$R_b(\underline{R}_s) = R_b(309,8) = 9,74 \text{ МПа},$$

$$R_b(X) = \underline{R}_b \rightarrow X = 314,45 \text{ МПа}.$$

С учетом линеаризации функции $R_b(R_s)$ на рассматриваемом участке (в запас надежности) получим:

$$A_{failure} = 0,5 \cdot [R_b(\underline{R}_s) - \underline{R}_b] \cdot [X - \underline{R}_s] = \\ = 0,5 \cdot [9,74 - 8,7] \cdot [314,45 - 309,8] = 2,418 \text{ МПа}^2.$$

$$A_{total} = [\bar{R}_b - \underline{R}_b] \cdot [\bar{R}_s - \underline{R}_s] = \\ = [11,6 - 8,7] \cdot [350 - 309,8] = 116,5 \text{ МПа}^2.$$

По (4) надежность составит: $P = 1 - \frac{A_{failure}}{A_{total}} = 1 - \frac{2,418}{116,5} = 0,979$.

Для объективной верификации рассмотренного подхода проведем численный эксперимент с генерацией случайных чисел по методу Монте-Карло. Сгенерируем в программе PTC MathCAD 1000 пар значений \tilde{R}_b и \tilde{R}_s . Каждая пара значений будет

характеризовать фактическую прочность бетона и стали арматуры балки для конкретной балки. Для генерации случайных величин будем использовать нормальный закон распределения со статистическими параметрами $m_{R_b} = 10,15$ МПа, $S_{R_b} = 0,5$ МПа, $m_{R_s} = 330$ МПа, $S_{R_s} = 7,0$ МПа, которые подобраны для интервалов $[\underline{R}_b; \bar{R}_b] = [8,7; 11,6]$ МПа, $[\underline{R}_s; \bar{R}_s] = [309,8; 350]$ МПа с учетом правила трех сигм. На рисунке 4 представлены результаты генерации 1000 вариантов случайных комбинаций расчетных сопротивлений бетона \tilde{R}_b и арматуры \tilde{R}_s в рассматриваемой балке.

По результатам генерации 1000 пар значений \tilde{R}_b и \tilde{R}_s лишь в 3 случаях из 1000 зафиксировано превышение предельного состояния по модели (3). Вероятность безотказной работы можно представить в виде $(1000-3)/1000=0,997$.

Оценка надежности путем использования метода Монте-Карло получилась выше, т.к. принимался известным закон распределения случайной величины.

Оценка надежности по предложенному подходу с использованием теории выпуклых множеств позволяет получить более осторожную оценку при неполной статистической информации о контролируемых параметрах.

Таким образом, предложенный подход позволяет получить оперативную оценку надежности по результатам экспертной оценки температуры нагрева бетона и арматуры изгибаемого железобетонного элемента по внешним признакам. Соответствующая оценка надежности может служить одной из составляющей для расчета риска [14, 15].

Выводы:

1. По результатам анализа различных моделей снижения прочности бетона и арматуры в железобетонных элементах для оценки их остаточной несущей способности можно отметить, что резкое снижение прочностных характеристик арматуры происходит после ее нагрева до 400–500 °С; снижение прочности бетона более равномерно, но в то же время нагрев бетона до 200 °С может привести к снижению прочности до 20 %.

2. Предложен подход к оценке надежности изгибаемых железобетонных элементов (балок и плит) после высокотемпературных воздействий с использованием теории выпуклых множеств (convex sets). Такой подход позволяет получить оперативную оценку надежности на основе экспертной оценки температуры прогрева бетона и арматуры в железобетонных элементах.

3. Рассмотренный подход верифицирован путем проведения численного моделирования статистических показателей прочности бетона и арматуры методом Монте-Карло. При отсутствии данных о виде распределений и их статистических параметрах оценка надежности получается несколько заниженной, что является более осторожным результатом в условиях статистической неопределенности, чем необоснованное принятие вероятностно-статистических гипотез.

Литература

1. Шуровкина, Л. Л. Огнестойкость железобетонных конструкций: основные принципы расчета по нормам РФ и ЕС / Л. Л. Шуровкина // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 6 (45). – С. 89–101.

2. Тарасенко, А. В. Прочность и деформативность железобетонных конструкций, поврежденных пожаром / А. В. Тарасенко, А. Г. Тамразян // Новое слово

в науке: перспективы развития. – 2016. – № 1–2 (7). – С. 74–77.

3. Guo, Q. Probabilistic evaluation of structural fire resistance / Q. Guo, K. Shi, Z. Jia, A. E. Jeffers // Fire technology. – 2013. – Vol. 49 (3). – pp. 793–811.

4. Wroblewska, J. Assessing concrete strength in fire-damaged structures / J. Wroblewska, R. Kowalski // Construction and Building Materials. – 2020. – Vol. 254. – pp. 119–122.

5. Mundhada, A. R. Effect of high temperature on compressive strength of concrete / A. R. Mundhada, A. D. Pofale // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. – 2015. – Vol. 12(1). – pp. 66–70.

6. Li, Y. H. Test results and model for the residual compressive strength of concrete after a fire / Y. H. Li, J. M. Franssen // Journal of Structural Fire Engineering. – 2011. – Vol. 2. – No. 1. – pp. 29–44.

7. Jau, W. C. A study of reinforced concrete corner columns after fire / W. C. Jau, K. L. Huang // Cement and concrete Composites. – 2008. – Vol. 30, No. 7. – pp. 622–638.

8. Elghazouli, A. Y. Experimental evaluation of the mechanical properties of steel reinforcement at elevated temperature / A. Y. Elghazouli, K. A. Cashell, B. A. Izzuddin // Fire Safety Journal. – 2009. – Vol. 44, No. 6. – pp. 909–919.

9. Hertz, K. D. Reinforcement data for fire safety design / K. D. Hertz // Magazine of Concrete Research. – 2004. – Vol. 56, No. 8. – pp. 453–459.

10. Hager, I. Colour change in heated concrete / I. Hager // Fire Technology. – 2014. – Vol. 50, No. 4. – pp. 945–958.

11. Arioz, O. Effects of elevated temperatures on properties of concrete / O. Arioz // Fire safety journal. – 2007. – Vol. 42, No. 8. – pp. 516–522.

12. Методические рекомендации по оценке свойств бетона после пожара. – Москва : НИИЖБ Госстроя СССР, 1985. – 20 с.

13. Luo, Y. Structural reliability assessment based on probability and convex set mixed model / Y. Luo, Z. Kang, A. Li // Computers & Structures. – 2009. – Vol. 87, No. 21–22. – pp. 1408–1415.

14. Crespo, L. G. Staircase predictor models for reliability and risk analysis / L. G. Crespo, S. P. Kenny, D. P. Giesy // Structural Safety. – 2018. – Vol. 75. – pp. 35–44.

15. Махутов, Н. А. Применение технической диагностики для расчета вероятности разрушения технических устройств и оценки риска аварии / Н. А. Махутов, В. И. Иванов, В. В. Мусатов // Безопасность труда в промышленности. – 2018. – № 9. – С. 53–64.

S.A. Solovev, A.A. Soloveva, L.S. Shevcov
Vologda State University

EXPRESS ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS AND SLABS RELIABILITY AFTER FIRE IMPACTS WITH LIMITED STATISTICAL DATA

The article describes an approach to the operational assessment of the reliability for flexural reinforced concrete elements (beams and slabs) by the criterion of the normal sections strength after a fire impacts using the convex sets theory. A comparison of various normative models and experimental studies of the decrease in the strength of concrete and steel reinforcement after high-temperature impacts is presented. By numerical simulation using the Monte Carlo approach, it is established that the proposed approach gives a more conservative assessment of reliability due to the lack of information about the probability distribution functions of the random variables. The reliability analysis method can be used for the primary assessment of the structural safety and for the identification of the category of technical condition of a structure.

Safety, reliability, fire impact, convex set theory, failure probability, uncertainty, reinforced concrete beam.



**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ ЭЛАСТОМЕРА
В СИСТЕМЕ МЕТАЛЛ – ЭЛАСТОМЕР**

Статья посвящена исследованию оптимизации процесса вулканизации покрытия из эластомера, нанесенного на металлическую основу. Данное исследование проводилось путем анализа процесса нестационарной теплопроводности при термической вулканизации эластомера в системе металл – эластомер. Математическая модель построена на основе аналитического решения системы уравнений теплопроводности при соответствующих краевых условиях. Задача исследований состояла в выборе таких краевых условий, при которых процесс вулканизации обеспечивал бы наилучшее качество слоя эластомера, нанесенного на металл. Результаты апробации предложенной модели доказали возможность ее применения в инженерной практике.

Оптимизация, процесс вулканизации, эластомер, металлическая основа, нестационарная теплопроводность, система металл – эластомер, уравнение теплопроводности, краевые условия.

Покрытия на основе эластомера, нанесенные на металлическую основу, широко используются в современной технике. Основным назначением таких покрытий является защита металла от воздействия агрессивной среды и механических воздействий, что позволяет, в частности, использовать менее дорогие металлы и сплавы.

Покрытие из эластомера наносится на металлическую основу, после чего эластомер подвергается вулканизации в целях придания ему необходимых свойств. Процесс вулканизации должен проходить таким образом, чтобы эластомер сохранял требуемые свойства и при этом надежно крепился к металлической основе, что позволяло бы подвергать единую систему металл – эластомер механическим воздействиям при изготовлении деталей различных размеров и форм.

Основным методом вулканизации является термический метод, при котором эластомер подвергается нагреву, сопровождающемуся рядом физико-химических процессов [1]. При этом оптимальным условием нагрева системы металл – эластомер является равенство значений температуры на обеих поверхностях эластомера [2]. В связи с этим предпочтительным является контактный метод подвода тепла к внешним поверхностям системы, когда на этих поверхностях поддерживаются определенные значения температуры, которые в общем случае представлены функциями времени τ . Цель исследований – установление вида таких функций, которые обеспечивали бы оптимальные условия вулканизации эластомера.

Систему металл – эластомер предлагается рассматривать в виде двухслойной бесконечной пластины общей толщины $l_1 + l_2$. Индекс j ($j = 1; 2$) обозначает номер слоя пластины: значение $j = 1$ соответствует эластомеру, а значение $j = 2$ – металлу.

Математическая модель основывается на решении системы двух уравнений теплопроводности:

$$\frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$(-l_1 < x \leq 0)$$

$$\frac{\partial t_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 t_2(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (2)$$

$$(0 < x < l_2),$$

где $t_j(x, \tau)$ – температура в точке с координатой x в момент времени τ , °С; a_j – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Для решения системы дифференциальных уравнений (1)–(2) предлагается использовать следующие краевые условия:

$$t_1(x, 0) = t_2(x, 0) = t_0 = const, \quad (3)$$

$$t_1(0, \tau) = t_2(0, \tau), \quad (4)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1(0, \tau)}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial t_2(0, \tau)}{\partial x}, \quad (5)$$

где λ_j – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);

$$t_1(-l_1, \tau) = t_1 = const; \quad (6)$$

$$t_2(l_2, \tau) = t_1 + (t_2 - t_1)e^{-k\tau}. \quad (7)$$

$$(t_2 = const; k = const > 0; t_2 \geq t_1)$$

Условие (3) является начальным и предполагает одно и то же значение температуры в момент времени $\tau = 0$ во всех точках обоих слоев.

Граничные условия (4)–(5) отвечают идеальному тепловому контакту на поверхности $x = 0$, разделяющей эластомер и металл. Они описывают равенство значений температуры (условие (4)) и равенство тепловых потоков (условие (5)).

Условия (6)–(7) являются граничными условиями первого рода, что соответствует процессу контактной

термической вулканизации. При этом на внешней поверхности $x = -l_1$ эластомера предполагается задавать постоянное значение t_1 температуры, которое исключало бы возможную деструкцию эластомера, в то время как на внешней поверхности $x = l_2$ металла значение температуры задается в виде экспоненциальной функции времени τ . Выбор значений t_2 и k должен обеспечивать оптимальные условия процесса вулканизации – равенство значений температуры на поверхностях $x = -l_1$ и $x = 0$ эластомера.

Решение уравнения (1) для краевых условий (2)–(7) получено с помощью операционного исчисления и может быть представлено в виде

$$t_1(x, \tau) = t_1 + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{A_m \cos\left(\mu_m \frac{x}{l_1}\right) + B_m \sin\left(\mu_m \frac{x}{l_1}\right)}{C_m} e^{-\mu_m^2 Fo} + (t_2 - t_1) \frac{D_k \cos\left(\sqrt{\frac{k}{l_1}} x\right) + E_k \sin\left(\sqrt{\frac{k}{l_1}} x\right)}{F_k} e^{-k\tau}, \quad (8)$$

$$t_2(x, \tau) = t_1 + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{A_m \cos\left(K_2 \mu_m \frac{x}{l_2}\right) + K_1 B_m \sin\left(K_2 \mu_m \frac{x}{l_2}\right)}{C_m} e^{-\mu_m^2 Fo} + (t_2 - t_1) \frac{D_k \cos\left(\sqrt{\frac{k}{l_2}} x\right) + K_1 E_k \sin\left(\sqrt{\frac{k}{l_2}} x\right)}{F_k} e^{-k\tau}, \quad (9)$$

где

$$A_m = (t_1 - t_0) \left(k - \mu_m^2 \frac{a_1}{l_1^2} \right) K_1 +$$

$$+ \left[(t_1 - t_0) \left(k - \mu_m^2 \frac{a_1}{l_1^2} \right) - (t_2 - t_1) \mu_m^2 \frac{a_1}{l_1^2} \right] \frac{\sin \mu_m}{\sin(K_2 \mu_m)};$$

$$B_m = \left\{ \begin{array}{l} \left[(t_1 - t_0) \left(k - \mu_m^2 \frac{a_1}{l_1^2} \right) - (t_2 - t_1) \mu_m^2 \frac{a_1}{l_1^2} \right] \cos \mu_m - \\ - (t_1 - t_0) \left(k - \mu_m^2 \frac{a_1}{l_1^2} \right) \cos(K_2 \mu_m) \end{array} \right\} \frac{1}{\sin(K_2 \mu_m)};$$

$$C_m = -\frac{1}{2} \left(k - \mu_m^2 \frac{a_1}{l_1^2} \right) \times$$

$$\times \left[\frac{K_2 \mu_m \sin(K_2 \mu_m) \frac{\sin \mu_m}{\sin(K_2 \mu_m)} + K_1 \mu_m \sin \mu_m +}{\sin^2(K_2 \mu_m)} + \frac{K_2 \mu_m \sin \mu_m \cos(K_2 \mu_m) - \mu_m \sin(K_2 \mu_m) \cos \mu_m \cos(K_2 \mu_m)}{\sin^2(K_2 \mu_m)} \right];$$

$$D_k = \frac{\sin\left(\sqrt{\frac{k}{a_1}} l_1\right)}{\sin\left(K_2 \sqrt{\frac{k}{a_1}} l_1\right)};$$

$$E_k = \frac{\cos\left(\sqrt{\frac{k}{a_1}} l_1\right)}{\sin\left(K_2 \sqrt{\frac{k}{a_1}} l_1\right)};$$

$$F_k = K_1 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{a_1}} l_1\right) + \cos\left(K_2 \sqrt{\frac{k}{a_1}} l_1\right) \frac{\sin\left(\sqrt{\frac{k}{a_1}} l_1\right)}{\operatorname{sh}\left(K_2 \sqrt{\frac{k}{a_1}} l_1\right)};$$

$$K_1 = \sqrt{\frac{a_2}{a_1}} \frac{\lambda_1}{\lambda_2}; \quad K_2 = \sqrt{\frac{a_1}{a_2}} \frac{l_2}{l_1};$$

$Fo = a_1 \tau / l_1^2$ – критерий Фурье; $\mu_m > 0$ – корни характеристического уравнения

$$\sin \mu \cdot \cos(K_2 \mu) + K_1 \sin(K_2 \mu) \cdot \cos \mu = 0.$$

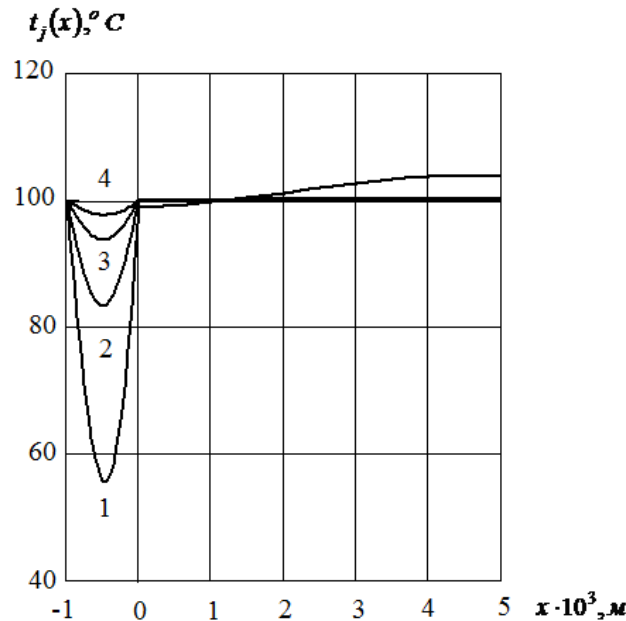


Рис. 1. Линии температурного поля, рассчитанные с помощью решения (8)–(9) при $t_1 = 100$ °C, $t_2 = 300$ °C, $k = 4,1$, l/c

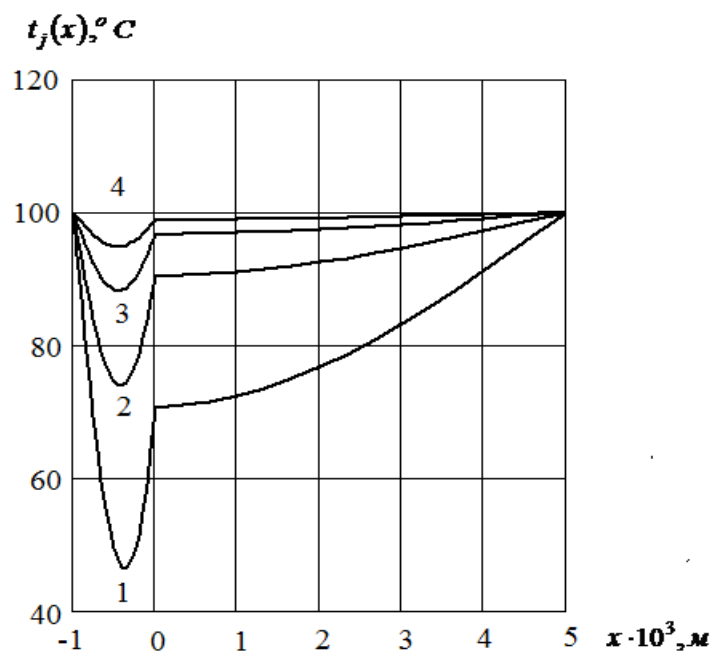


Рис. 2. Линии температурного поля, рассчитанные с помощью решения (8)–(9) при $t_2 = t_1 = 100^\circ\text{C}$

На рисунке 1 представлены результаты расчетов линий температурного поля, выполненных в соответствии с решением (8)–(9). При проведении расчетов предполагалось, что на пластину из стали Ст3 нанесен слой эластомера марки 2566. При этом использованы следующие значения параметров: $l_1 = 0,001$ м; $l_2 = 0,005$ м; $t_0 = 25^\circ\text{C}$; $t_1 = 100^\circ\text{C}$; $t_2 = 300^\circ\text{C}$; $k = 4,1$, 1/с.

Линии 1, 2, 3, 4 температурного поля соответствуют следующим значениям времени: 1 – $\tau = 1$ с; 2 – $\tau = 2$ с; 3 – $\tau = 3$ с; 4 – $\tau = 4$ с.

Из рисунка 1 следует, что при выбранных параметрах t_2, k достаточно точно выполняется условие равенства значений температуры на поверхностях $x = -l_1$ и $x = 0$ эластомера.

Для сравнения на рисунке 2 приведены результаты расчетов, проведенных в соответствии с решением (8)–(9) при условии $t_2 = t_1 = 100^\circ\text{C}$. Расчеты линий температурного поля, представленных на рисунке 2, производились для тех же значений времени τ , что и для линий рисунка 1. При этом на рисунке 2 явно

прослеживается несовпадение значений температуры на поверхностях $x = -l_1$ и $x = 0$ эластомера. Такое несовпадение может негативно повлиять на качество вулканизации эластомера и прочность его крепления к металлической пластине.

Апробация предлагаемой математической модели доказала возможность ее применения при проведении инженерных расчетов с целью прогнозирования оптимального режима контактной термической вулканизации эластомера в системе металл – эластомер.

Литература

1. Лукомская, А. И. Тепловые основы вулканизации резиновых изделий / А. И. Лукомская, П. Ф. Баденков, Л. М. Кеперша. – Москва : Химия, 1972. – 360 с.
2. Аваев, А. А. Математическое моделирование нестационарной теплопроводности при вулканизации эластомерных покрытий на тканевых и металлических подложках : монография / А. А. Аваев. – Череповец : ГОУ ВПО ЧГУ, 2010. – 133 с.

A.A. Avaev

Cherepovets State University

ELASTOMER VULCANIZATION PROCESS OPTIMIZATION IN METAL – ELASTOMER SYSTEM

The presented work is devoted to the study of vulcanization process optimization of the elastomer coating applied to a metal base. This study was carried out by analyzing the process of non-stationary heat conduction during thermal vulcanization of an elastomer in a metal – elastomer system. The mathematical model is based on the analytical solution of the system of heat conduction equations under the appropriate boundary conditions. The research task consisted in the selection of such boundary conditions under which the vulcanization process provided the best quality of the elastomer layer applied to the metal. The results of approbation of the proposed model proved the possibility of its application in engineering practice.

Optimization, vulcanization process, elastomer, metal base, non-stationary heat conduction, metal – elastomer system, heat conduction equation, boundary conditions.



*Н.И. Кулева, А.С. Степанов, А.В. Старостин
Вологодский государственный университет*

МЕСТО КВАЛИТОЛОГИИ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье рассматривается сущность, структура квалитологии как науки, возникшей на стыке технических, социально-гуманитарных наук и математики, приведена их взаимосвязь. Освещается вопрос, касающийся цифровизации системы менеджмента качества машиностроительных предприятий.

Квалитология, квалитметрия, метрология, качество машиностроительной продукции, система менеджмента качества, цифровизация.

Качество всегда имело достаточно большое практическое значение. В условиях рыночной экономики для достижения конкурентоспособности предприятий машиностроительной отрасли особенно важно качество производимой ими продукции.

В связи с этим возникает такая область знаний, как квалитология, которая, по мнению ряда исследователей, например А.В. Гличева, С.Я. Гродзенского, Е.Н. Приступы, А.И. Субетто и др., является наукой о качестве создаваемых человеком объектов и процессов.

Качество – достаточно субъективное понятие. В целом можно обобщить, что качество машиностроительной продукции – это полное соответствие характеристик продукции установленным в документации требованиям, ориентированным на потребителя. Невозможно учесть требования всех потребителей к одному виду продукции, поэтому максимум, который может быть достигнут производителем, – создание продукции, соответствующей требованиям технической документации, разработанной в соответствии с требованиями большинства потребителей. Продукция, соответствующая данным требованиям, вправе называться качественной. На качество машиностроительной продукции влияет множество факторов, которые можно представить в виде схемы Исикавы, используя мнемонический прием 5m (material, machine, man, method, measuring) для определения первичных факторов и методологию «Пять "почему?"» для поиска корневых причин.

Согласно принципу триединства науки о качестве, сформулированному А.И. Субетто, квалитология представляет собой систему, составляющими которой являются следующие части [8]:

- теория качества, в основе которой лежат законы, а также принципы формирования качества объектов и процессов, созданных человеком;

- квалитметрия, то есть теория измерения и количественной оценки качества, цель которой – обоснование решений, принимаемых при управлении качеством;

- теория управления качеством, в основе которой лежат законы, принципы, механизмы, системы, методологии и технологии управления качеством продукции, процессов.

Е.Н. Приступа приводит следующую структуру квалитологии (рис. 1) [7] – наряду с квалитметрии (теорией оценки качества количественными и не количественными методами) выделяет метрологию (науку об измерениях) как часть квалитологии.

Исходя из вышеизложенного материала, можно сделать вывод, что квалитология напрямую связана с метрологией, но уместно ли метрологию считать частью квалитологии? Метрология – наука об измерениях, методах, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности [2]. Метрология – это наука об измерениях, но не всегда ради оценки качества. Возможно, квалитметрии в структуре квалитологии вполне достаточно, так как она включает в себя различные методы оценки качества, в том числе и измерительный метод. Можно предположить, что квалитология (в большей степени именно раздел квалитметрии) все же является ответвлением метрологии, образовавшемся на стыке нескольких наук.

Среди каких наук также можно отметить наличие связи с квалитологией? По мнению С.Я. Гродзенского, управление качеством – часть общей науки управления, включающей знания из других областей, и, в частности, науки о человеческом поведении [5]. Если мы обратимся к сущности концепций, лежащих в основе управления качеством (например, 14 принципов Э. Деминга для управляющего), мы увидим, что квалитология, несомненно, имеет связь с психологией.

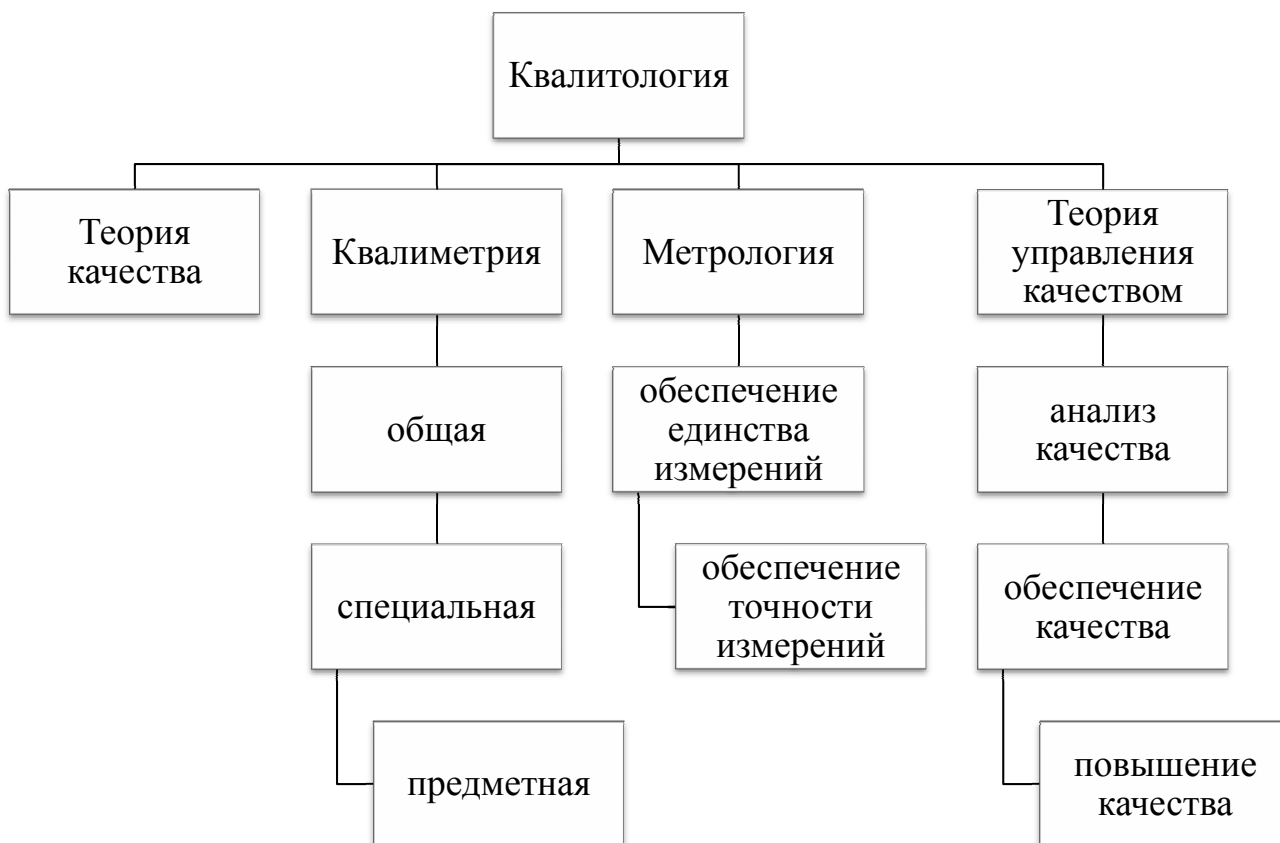


Рис. 1. Структура квалитологии

Общепризнанным в управлении качеством является то, что система менеджмента качества должна базироваться на цикле Шухарта – Деминга, на каждом этапе которого рекомендуется применять принципы статистического мышления. Статистическое мышление – это способ, основанный на теории принятия решений (на теории вариабельности) о том, необходимо или нет вмешиваться в процесс, и если необходимо, то кому и когда. Статистическое управление процессами – это основанная на статистическом мышлении и теории вариабельности методология постоянного совершенствования процессов с использованием как статистических, так и иных методов [5]. Таким образом, квалитология имеет тесную связь с математикой, а именно с прикладной статистикой.

Для улучшения потребительских свойств машиностроительных изделий, их конкурентоспособности, а также ускорения вывода продукции на рынок необходимым является повышение эффективности всех процессов на различных этапах жизненного цикла изделия. Данная цель может быть достигнута с помощью CALS-технологий – систем управления жизненным циклом продукции, которые обеспечивают успешную реализацию процессов проектирования, производства, эксплуатации изделий на основе информационных технологий. В частности, одними из важнейших этапов жизненного цикла продукции являются стадия ее проектирования, а также стадия разработки процессов производства, на которые большое влияние оказывает конструкторско-технологическая

подготовка производства. Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) позволяют реализовать полностью в электронном виде весь процесс разработки конструкции продукции от выдачи технического задания до получения полного комплекта конструкторской документации (КД) на изделие.

В связи с этим существенно сокращаются сроки разработки конструкций и технологических процессов; практически исключаются ошибки в КД; снижаются операционные затраты времени на поиск, обновление и хранение КД; сокращаются сроки конструкторско-технологической подготовки производства; повышаются качество и конкурентоспособность продукции за счет того, что описание многих составных частей проектируемой продукции или процессов хранится в базах данных, доступных всем пользователям CALS-технологий. Конструкторская информация составляет весьма значительную долю в общем объеме информации об изделии, необходимой в процессе поддержки его жизненного цикла при решении задач подготовки и реализации производства продукции, материально-технического обеспечения, сбыта, эксплуатации, ремонта и т.п. Отдельные этапы жизненного цикла разрабатываемого изделия (например, такие, как проектирование, испытание опытного образца, единичное, серийное или массовое производство каких-либо частей продукции) могут быть связаны с различными предприятиями. Достаточно часто данные этапы осуществляются отдельными организациями. Поэтому при внедрении важно обеспе-

чить взаимодействие различных предприятий и подразделений внутри каждой организации в едином информационном пространстве, основанном на единых стандартах обмена данными. Важным аспектом всех систем автоматизации является их соответствие требованиям национальных, международных стандартов, поскольку реализация системы менеджмента качества невозможна без стандартизации всех процессов проектирования продукции и технологических процессов.

Эту проблему решает программное обеспечение, использование которого позволяет повысить уровень системы менеджмента качества в целом. Например, системы управления данными (в частности, ЛОЦМАН: PLM) позволяют определить основные этапы создания продукции, основных участников и взаимодействие между ними, а также осуществить значительную часть трудоемких работ по созданию документации. Данное программное обеспечение поддерживает информацию об изделии в актуальном состоянии и обеспечивает все требования по внесению изменений в конструкцию. Стандартизация проектных документов реализуется в системах 3D-моделирования, таких как КОМПАС-3D, обеспечивающих создание полного комплекта конструкторской и эксплуатационной документации на изделие. Требования к технологической документации, в свою очередь, учтены системами автоматизированного проектирования технологических процессов (например, САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ), которые на основе конструкторской информации позволяют организовать взаимодействие между всеми участниками процесса технологической подготовки производства [4, 6].

Таким образом, в связи с тем, что современные тенденции управления качеством на предприятии предполагают применение информационных технологий, создание единого информационного пространства для всех организаций, цифровизацию системы менедж-

мента качества, можно сделать вывод, что квалитология имеет связь с информатикой [6].

Конечной целью управления качеством является достижение экономического эффекта, то есть предприятие всегда ориентировано на получение прибыли, невзирая на то, как формулируется политика предприятия в области качества. Широкий круг задач, решаемых в рамках управления качеством, с экономической стороны включает такие задачи, как определение наиболее оптимального уровня качества, которое будет в состоянии обеспечить конкурентоспособность продукции и организации в целом, а также обеспечение данного уровня качества.

На рисунке 2 представлена схема, которая показывает, что квалитология возникла на стыке технических, социально-гуманитарных наук и математики, а именно: метрологии, математики, психологии, информатики, экономики. Схема является исключительно иллюстративной, поскольку определение процентного соотношения той или иной науки в квалитологии – отдельный вопрос.

В заключение стоит отметить, что современные экономические отношения нашей страны требуют от машиностроительных предприятий, находящихся сейчас в трудных условиях, создания системы управления, которая сможет обеспечить высокую эффективность работы и конкурентоспособность на рынке [1, 3]. Речь идет не просто о создании системы менеджмента качества, а о цифровизации данной системы, что достаточно актуально в условиях «цифрового бума», который переживает в настоящее время весь мир. Конечно, руководители и специалисты предприятий должны знать теорию и практику управления, уметь самостоятельно разрабатывать формы и методы обеспечения качества машиностроительной продукции;

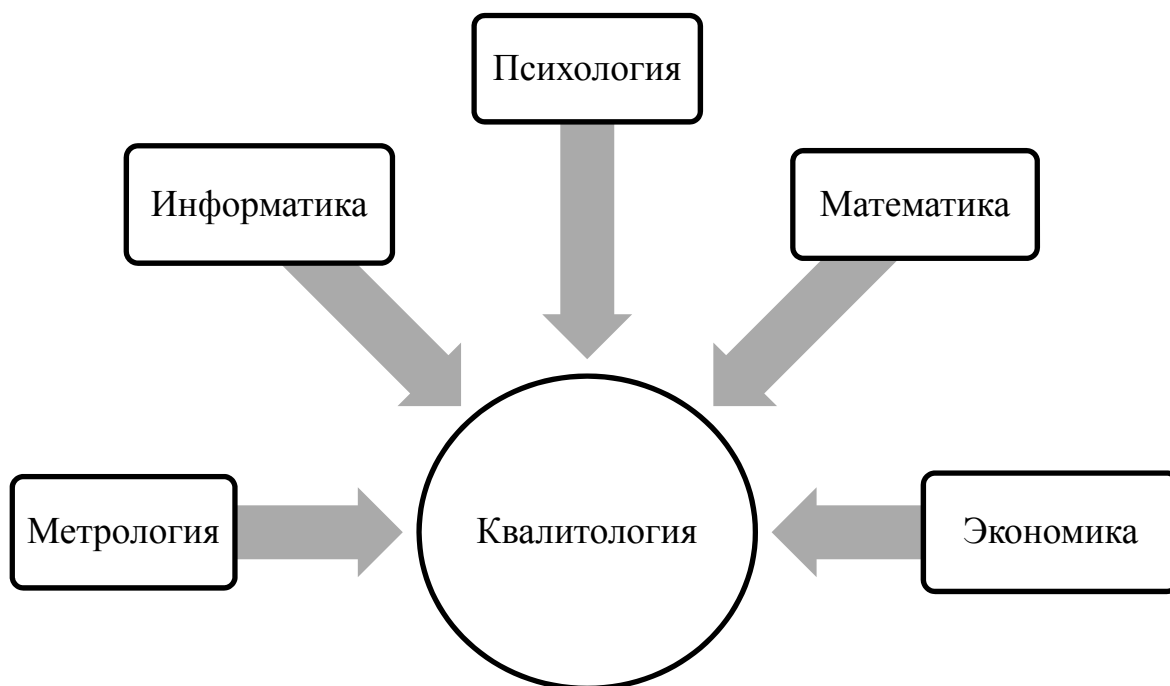


Рис. 2. Место квалитологии в системе наук

они вынуждены самостоятельно решать проблемы материально-технического обеспечения, заключать договоры по изготовлению комплектующих деталей и изделий, заниматься вопросами сбыта продукции и т.д.

При этом нельзя забывать, что рынок заинтересован в качественной продукции, поэтому вопросы обеспечения качества как были, так и остаются на первом месте. Часто считается, что качество продукции может быть обеспечено постоянным контролем на всех этапах производства. Но создание эффективной цифровизированной системы менеджмента качества позволит встроить качество в технологические процессы, повысить управляемость процессов разработки и производства изделий за счет оперативно получаемой информации об их функционировании в режиме реального времени, встать на путь производства кастомизированной продукции, снизить затраты на прямой контроль, исключив некоторые операции. Таким образом, данный вопрос является актуальным для дальнейшей работы.

Литература

1. Бриш, В. Н. Методы обеспечения качества машиностроительной продукции : учебное пособие / В. Н. Бриш, А. Н. Сигов, А. В. Старостин. – Вологда : ВоГТУ, 2012. – 112 с.
2. Бриш, В. Н. Метрология, стандартизация, сертификация : учебное пособие / В. Н. Бриш, А. Н. Сигов, А. В. Старостин. – Вологда : ВоГТУ, 2011. – 131 с.
3. Бриш, В. Н. Управление качеством : учебное пособие / В. Н. Бриш, А. Н. Сигов, А. В. Старостин. – Вологда : ВоГУ, 2017. – 139 с.
4. Булавин, В. Ф. Политика цифровых технологий на малых машиностроительных предприятиях. / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев, А. С. Степанов. – doi 10.18698/0536-1044-2019-9-35-45 // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2019. – № 9. – С. 35–45.
5. Гродзенский, С. Я. Управление качеством : учебник / С. Я. Гродзенский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Проспект, 2018. – 320 с.
6. Кулева, Н. И. Актуализация системы менеджмента качества предприятия при создании информационного пространства конструкторско-технологической подготовки производства / Н. И. Кулева, А. С. Степанов // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем : сборник науч. трудов 2-й Всерос. науч.-технич. конф. (Курск, 27–28 мая 2020 г.) / [отв. ред. Е. В. Павлов]. – Курск, 2020. – С. 131–134.
7. Приступа, Е. Н. Основы квалитологии и квалиметрии качества услуг в практике социальной работе / Е. Н. Приступа // Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина : официальный сайт. – URL: http://www.tsutmb.ru/nayk/nauchnyie_meropriyatiya/int_konf/mezhdunarodnyie/stanovlenie_professii_soczialnij_rabotnik_metodologii_modeli_i_tehnologii/1_metodologiya_i_konceptualnyie_podxodyi_k_professionalizaczi_i_soczialnoj_raboty/osnovyi_kvalitologii_i_kvalimetrii_k_achestva_uslug_v_praktike_soczialnoj_rabote (дата обращения: 26.10.2021).
8. Субетто, А. И. Сочинения. Ноосферизм: В 13 томах. Том восьмой: Квалитативизм: философия и теория качества, квалитология, качество жизни, качество человека и качество образования. Книга 1 / А. И. Субетто ; под ред. Л. А. Зеленова – Санкт-Петербург : Кострома : КГУ им. Н. А. Некрасова, 2009. – 392 с.

*N.I. Kuleva, A.S. Stepanov, A.V. Starostin
Vologda State University*

PLACE OF QUALITOLOGY IN QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

The article shows the essence and structure of qualitology as a science, which arose at the junction of technical, social and humanitarian sciences and mathematics. Their relationship is also described. An issue related to the digital quality management system of machine-building enterprises is considered.

Qualitology, qualimetry, metrology, quality of engineering products, quality management system, digitalization.



МЕХАНИЧЕСКАЯ РЕАКТИВНАЯ ИНЕРЦИОННАЯ МОЩНОСТЬ В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В статье рассматривается механическая реактивная мощность, которая может возникать в машинах, рабочие органы которых совершают гармонические колебания. Приводится методика расчета и пример определения значений реактивной мощности в механической системе. Установлено, что при решении задач, связанных с повышением энергоэффективности машин, необходимо учитывать все составляющие их мощности, включая механическую реактивную инерционную.

Массивный, колебания, инерционная мощность, реактивная мощность, привод.

Для решения вопросов, связанных с повышением энергоэффективности машин и механизмов, рабочие органы которых совершают гармонические или почти гармонические колебания [1, 2], необходимо учитывать все составляющие их мощности, включая механическую реактивную инерционную [3, 4], под которой понимается производная работы, совершаемой приводом, для сообщения массивным объектам кинетической энергии [5, 6].

Механическая реактивная инерционная мощность является аналогом электрической реактивной (емкостной) мощности. В отличие от механической активной мощности, которая развивается при выполнении полезной работы или рассеивается в виде тепловых потерь, другими словами, является *необратимой*, механическая реактивная инерционная мощность – *обратимая* (отсюда происходит приставка «ре», одно из значений которой – реставрация).

Механическая реактивная инерционная мощность развивается при сообщении инертному телу кинетической энергии (при этом мощность положительна). Обратимость в этом случае означает, что запасенная кинетическая энергия может (обратно) трансформироваться в механическую работу (при этом мощность отрицательна).

Пусть массивный объект (узел, деталь, заготовка) совершает гармонические колебания

$$x = l \sin \omega t,$$

где x – его координата, м; l – амплитуда колебаний [7].

Скорость объекта (м/с) равна

$$v = \dot{x} = l\omega \cos \omega t.$$

Мгновенное значение кинетической энергии (Дж) объекта, совершающего колебания, имеет вид:

$$w = \frac{mv^2}{2} = \frac{ml^2\omega^2 \cos^2 \omega t}{2},$$

где m – масса, кг.

Мгновенное значение инерционной мощности (Вт), обусловленной массой объекта, определяется выражением

$$q = \frac{dw}{dt} = -l^2 m \omega^3 \cos \omega t \sin \omega t = -\frac{l^2 m \omega^3}{2} \sin 2\omega t. \quad (1)$$

На рисунке представлены графики перемещения, скорости и мгновенной инерционной мощности.

Величина (1) (гармонически) изменяется со временем. Поэтому использовать ее для характеристики процесса или системы затруднительно. Для этой цели, так же как и в электротехнике, используется амплитуда мгновенного значения

$$Q = \frac{l^2 m \omega^3}{2},$$

которую и принято называть механической реактивной инерционной мощностью (в отличие от мгновенной механической реактивной инерционной мощности (1)).

Пример. Пусть у вибрационного сепаратора сыпучих материалов $l = 7,5 \cdot 10^{-3}$ м; $m = 92$ кг; $n = 8$ Hz ($\omega = 2\pi n$), диссипативная мощность, включающая полезную и потери, $P = 44$ Вт. Эти данные позволяют рассчитать механическую реактивную инерционную мощность, развиваемую в механизме

$$Q = \frac{l^2 m \omega^3}{2} = \frac{(7,5)^2 \cdot 10^{-6} \cdot 92 \cdot 2^3 \pi^3 \cdot 8^3}{2} \approx 328 \text{ Вт}.$$

Отношение диссипативной мощности к реактивной составляет

$$\frac{P}{Q} = \frac{44}{328} \approx 0,13.$$

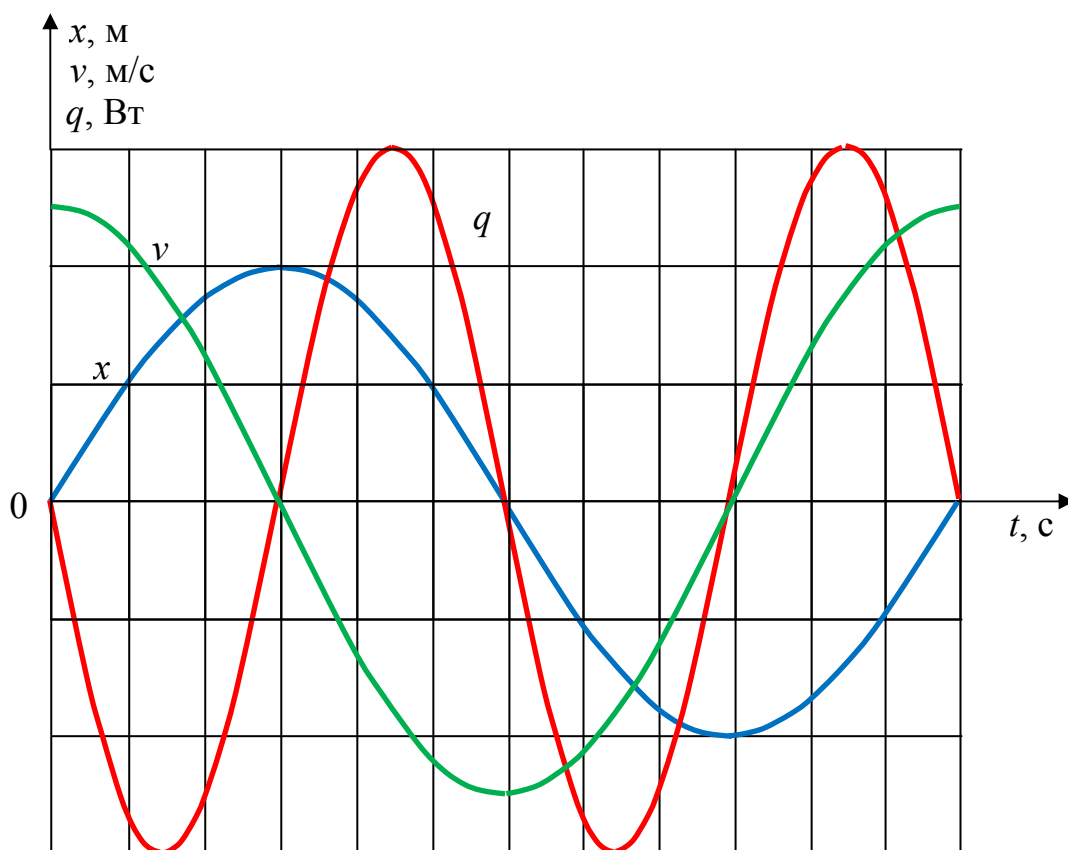


Рис. Мгновенная инерционная мощность:

x – координата массивного объекта, v – скорость, q – мгновенная инерционная мощность, t – время

Несмотря на то, что механическая реактивная инерционная мощность не является диссипативной [8], следует стремиться к ее минимизации, поскольку в соответствии с законом сохранения энергии она приводит к дополнительным потерям в объеме примерно 10 % ее величины.

Буквально в последнее время в связи с разработкой колебательных систем, состоящих из однородных элементов [9–12], появилась возможность решения вышеназванной проблемы вплоть до полной нейтрализации механической реактивной инерционной мощности.

Литература

1. Коробчук, М. В. Обзор современных вибрационных смесителей сыпучих материалов и тенденции их развития / М. В. Коробчук, А. Н. Веригин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – № 4 (32). – С. 32–45.
2. Локтионова, О. Г. Математическое моделирование вибрационных машин для переработки сыпучих материалов / О. Г. Локтионова, С. Ф. Яцун, Л. В. Лукин // Известия Курского государственного технического университета. – 1997. – № 1. – С. 11–20.
3. Попов, И. П. Диссипативная, реактивная и полная мощности виброприводов машин / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 3 (5). – С. 72–74.

4. Попов, И. П. Исследование вынужденных колебаний механических систем. Часть 1 / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 4 (6). – С. 21–25.

5. Попов, И. П. Самобалансировка вибрационных механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2018. – № 2 (2). – С. 16–19.

6. Попов, И. П. Применение искусственной массы для балансировки механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 1 (11). – С. 19–21.

7. Павлов, В. Д. Математические модели резонансных и антирезонансных процессов. – DOI 10.20291/2079-0392-2021-1-17-27 // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 1 (49). – С. 17–27.

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

9. Popov, I. P. Free harmonic oscillations in systems with homogeneous elements / I. P. Popov. – DOI 10.1016/j.jappmathmech.2012.09.005 // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2012. – Vol. 76, Iss. 4. – P. 393–395.

10. Попов, И. П. Построение вибрационных сортировальных машин по схеме мультиинертного ос-

циллятора / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2020. – № 3 (9). – С. 14–17.

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

ного университета. Серия: Технические науки. – 2020. – № 2 (8). – С. 10–12.

12. Попов, И. П. Использование инертного триплетного маятника в вибрационных сортировальных машинах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2020. – № 3 (9). – С. 11–13.

I.P. Popov
Kurgan State University

MECHANICAL REACTIVE INERTIAL POWER IN MECHANICAL SYSTEMS

The article discusses the mechanical reactive power that can occur in machines, the working bodies of which perform harmonic oscillations. The method of calculation and an example of determining the values of reactive power in a mechanical system are presented. It has been established that when solving problems associated with increasing the energy efficiency of machines, it is necessary to take into account all components of their power, including mechanical reactive inertial power.

Massive, oscillations, inertial power, reactive power, drive.



М.Ю. Пустоветов
Технологический институт (филиал)
Донского государственного технического университета в г. Азове

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ СИЛОВОГО АГРЕГАТА КАТЕРА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ РЕСУРСОВ

В статье предложено инженерное решение, касающееся схемы силового агрегата катера, позволяющее реализовать функциональную избыточность при имеющихся ограниченных энергетических и финансовых ресурсах. Эффект достигается за счет совершенствования системы электроснабжения постоянного тока, ее частичной автоматизации простыми средствами. Также требуется выполнение экипажем указаний по эксплуатации катера.

Катер, силовой агрегат, система электроснабжения, функциональная избыточность, аккумуляторная батарея, подруливающее устройство.

Маломерное судно [1, 2], например катер (рис. 1а), в постройке, несмотря на скромные размеры и, как правило, применяемые типовые технические решения, не относящиеся к переднему краю науки и технологии, зачастую является ареной нешуточных противоречий и компромиссов. Причины их сходны: желание получить максимально возможное количество функций изделия при неизменно ограниченных ресурсах, которые могут быть затрачены на постройку, и ограничениях по мощности силового агрегата.

Рассмотрим частный случай. Строится катер с одним силовым агрегатом, представленным главным двигателем (ГД), на котором смонтирован навешенный генератор *G1* и электростартер *M1*. Выработка, распределение и потребление электроэнергии на борту катера происходит на постоянном напряжении 12 В. В составе системы электроснабжения катера, которую в широком смысле слова также можно отнести к со-

ставу силового агрегата, имеются стартерная аккумуляторная батарея (АКБ) *GB1*; сервисная АКБ *GB2* (для питания, например, освещения, помп, эхолота-картплоттера, радиолокационной станции, отопителя и др.); аварийная АКБ *GB3*, предназначенная для питания ответственных потребителей (радиостанция, сигнально-отличительные фонари) в случае выхода из строя основного источника. Основным источником энергии является *G1*. АКБ *GB2* работает в буферном режиме, то есть при недостатке энергии от *G1* на нужды бортовых потребителей его покрывает *GB2*. В пути следования катера заряд всех АКБ происходит от *G1*. Также предусмотрен заряд всех АКБ катера на стоянке от береговой сети однофазного переменного тока или в пути следования от бортового генератора однофазного переменного тока номинальной мощностью 3,5 кВт через трехканальное выпрямительно-зарядное устройство *UZ1*.



а



б

Рис. 1. Катер (а) и его дополнительное подруливающее устройство (б)

Условные обозначения для рисунка 2

№ п.п.	Условное обозначение	Расшифровка условного обозначения
1	<i>XQ1, XQ2</i>	Сборные шины «+» и «-» в машинном отделении
2	<i>XQ3, XQ4</i>	Сборные шины «+» и «-» в пульте управления судном
3	<i>A3</i>	УКВ-радиостанция
4	<i>WA1</i>	Антенна радиостанции УКВ
5	<i>A4</i>	Контактор (соленоид), коммутирующее подруливающее устройство <i>A1</i>
6	<i>KM1</i>	Катушка и контакт в составе <i>A4</i> , подключающие <i>A1</i> к электропитанию, когда <i>A1</i> и <i>GB4</i> отделены от остальной системы электроснабжения катера
7	<i>KM2</i>	Катушка и контакт в составе <i>A4</i> , подключающие АКБ <i>GB4</i> к электропитанию от <i>G1</i> при выключенном <i>A1</i>
8	<i>QW1 – QW4</i>	Выключатели массы (коммутация АКБ)
9	<i>UZ2</i>	Зарядный изолятор транзисторный для исключения уравнильных токов между АКБ и исключения перехода <i>G1</i> в двигательный режим
10	<i>UZ3</i>	Зарядный изолятор диодный для исключения уравнильных токов между АКБ и исключения разряда <i>GB3</i> и <i>GB4</i> на нецелевую нагрузку
11	<i>QF1</i>	Автоматический выключатель защиты <i>G1</i>
12	<i>FU1, FU2</i>	Плавкие предохранители защиты силового кабеля и <i>A1</i>
13	<i>S1</i>	Трехпозиционный переключатель (<i>ON1 – OFF – ON2</i>) для управления режимом работы <i>A1</i> и <i>GB4</i>
14	<i>PA1, RS1</i>	Амперметр с измерительным шунтом
15	<i>PV1</i>	Вольтметр для контроля напряжения на шинах системы электроснабжения катера
16	<i>PV2</i>	Вольтметр для контроля напряжения на АКБ <i>GB4</i>

Иногда дополнительные технические требования к функциональности катера возникают на этапе его постройки, например нужно дооснастить его подруливающим устройством (рис. 1б) *A1* с проводным пультом дистанционного управления *A2* [3]. Нужно отметить, что такое устройство является для силового агрегата и системы электроснабжения катера довольно крупным потребителем: номинальные мощности подруливающих устройств начинаются от 1,3...1,5 кВт. Режим работы подруливающего устройства кратковременный (при швартовке) либо повторно-кратковременный (при удержании судна на курсе). Условием является невозможность использования бортового генератора однофазного переменного тока для питания подруливающего устройства. Отметим, что номинальный ток *G1* составляет 70 А, для унификации все АКБ выбраны одинакового типа с емкостью 190 Ач.

Несложно заметить, что включение мощного потребителя *A1* делает систему электроснабжения катера дефицитной: *G1* с заявленными характеристиками не способен выработать необходимое количество энергии. Можно получить энергию дополнительно от АКБ *GB2*, но это, в случае повторно-кратковременного режима работы *A1*, способно довольно скоро вызвать глубокий разряд *GB2*, что снова повысит нагрузку на *G1*. Установить дополнительный навешенный генератор на ГД или же подобрать на замену имеющемуся *G1* генератор большей мощности затруднительно из-за невозможности обеспечения совместимости механической части привода навешенного генератора с ГД, а также ограниченности бюджета постройки катера.

Поэтому возможным компромиссным решением является установка дополнительной сервисной АКБ *GB4*, предназначенной для снабжения электроэнергией только *A1* и *A2*. С целью минимизации нагрузки от *GB4* на *G1* нужно, чтобы при включенном подруливающем устройстве оно само и *GB4* были бы отделены от остальной системы электроснабжения катера. Также требуется, чтобы в режиме нормальной эксплуатации было бы невозможным питание от *GB4* каких-либо иных электроприемников, кроме *A1* и *A2*.

Такое техническое решение показано на рисунке 2, где приняты условные обозначения, расшифровываемые в таблице.

Электрической схемой катера предусмотрено, что при наличии берегового питания либо при включенном генераторе переменного однофазного напряжения ~220 В, 50 Гц стартерная и обе сервисные АКБ автоматически будут заряжаться от зарядного устройства *UZ1*. Аварийная АКБ *GB3* не имеет прямого канала заряда от зарядного устройства, но опосредованно заряжается через диодный разделитель *UZ3* от клеммы «+» *XQ3*, смонтированной в пульте управления судном, к которой через *XQ1* подключены положительные полюса стартерной *GB1* и сервисной АКБ *GB2*. Благодаря наличию диодного разделителя *UZ3* разряд аварийной АКБ *GB3* на другие АКБ либо на нагрузки кроме УКВ-радиостанции и сигнально-осветительных огней невозможен.

Имеется выключатель массы *QW3* в машинном отделении (нормально отключен), перевод которого во включенное состояние позволяет осуществить разряд сервисной АКБ *GB2*, расположенной в машинном отделении, на стартер *M1* ГД. Благодаря наличию выключателя массы *QW4* (нормально отключен) в пульте управления судном, возможно соединение АКБ *GB4* с электрической сетью катера (= 12 В) напрямую, в обход диодного разделителя *UZ3*. Перевод выключателя массы *QW4* во включенное положение обеспечивает возможность разряда *GB4* на *M1* ГД или иные электроприемники на борту катера.

Благодаря наличию выключателя массы *QW4* (нормально отключен) в пульте управления судном, возможно соединение АКБ *GB4* с электрической сетью катера (= 12 В) напрямую, в обход диодного разделителя *UZ3*. Перевод выключателя массы *QW4* во включенное положение обеспечивает возможность разряда *GB4* на *M1* ГД или иные электроприемники на борту катера.

Благодаря наличию выключателя массы *QW4* (нормально отключен) в пульте управления судном, возможно соединение АКБ *GB4* с электрической сетью катера (= 12 В) напрямую, в обход диодного разделителя *UZ3*. Перевод выключателя массы *QW4* во включенное положение обеспечивает возможность разряда *GB4* на *M1* ГД или иные электроприемники на борту катера.

Трехпозиционный переключатель *SI* режимов работы системы подруливающего устройства реализует: 1) в положении «*ON1*» получают питание от *GB4* подруливающее устройство *A1* и его проводной пульт управления *A2*. При этом *GB4* отделена от остальной электрической сети катера, то есть не нагружает навешенный генератор *G1*; 2) в среднем положении «*OFF*» *A1* и *A2* получают питание, а *GB4* отделена от остальной электрической сети катера, то есть не нагружает *G1*; 3) в положении «*ON2*» *GB4* подключена к электрической сети катера (= 12 В) через *UZ3*, имея при этом возможность заряжаться от *G1*, но разряд *GB4* на какие-либо потребители или другие АКБ невозможен.

Во избежание перегрузки и отказа *G1* в инструкцию по эксплуатации катера следует внести следующие запреты:

- перевода и нахождения во включенном положении одновременно двух выключателей массы – *QW2* и *QW4*;
- перевода в положение «*ON2*» трехпозиционного переключателя *SI* режимов работы системы подруливающего устройства, если выключатель массы *QW2* не переведен в выключенное положение.

Таким образом, в результате целенаправленной инженерной работы обеспечиваем функциональную избыточность силового агрегата катера: интеграция подруливающего устройства и несколько способов пуска *M1* в условиях ограниченности ресурсов (энергетических и финансовых).

Литература

1. Сыропятова, С. Б. Исследование рынка маломерных судов в России и за рубежом / С. Б. Сыропятова, Д. С. Колесников // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики : материалы XII Международной научно-практической конференции: в 4-х томах. Том 3. – Тольятти : Волжский университет имени В. Н. Татищева, 2015. – С. 195–201.
2. Филиппов, А. В. Опыт работы судостроительного предприятия малого бизнеса в условиях современного рынка маломерных плавсредств / А. В. Филиппов // Судостроение. – 2010. – № 1 (788). – С. 36–38.
3. Веревкин, В. Ф. Применение подруливающих устройств на судах / В. Ф. Веревкин, П. А. Сидельников // Вологдинские чтения. – 2001. – № 20. – С. 57–58.

M. Yu. Pustovetov

Technological Institute (Branch) of Don State Technical University in the City of Azov

IMPROVING THE DESIGN OF THE POWER UNIT OF THE BOAT TO ENSURE FUNCTIONAL REDUNDANCY IN CONDITIONS OF LIMITED RESOURCES

The article proposes an engineering solution concerning the scheme of the power unit of the boat, which allows implementation of functional redundancy with the available limited energy and financial resources. The effect is achieved by improving the DC power supply system and its partial automation by simple means. It is also required that the crew follow the instructions for operating the boat.

Boat, power unit, power supply system, functional redundancy, battery, thruster.



А.А. Фролов, А.С. Степанов, С.А. Фролов
Вологодский государственный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ УДЕРЖАНИЯ ШИПОВ ПРОТИВОСКОЛЬЖЕНИЯ В ПРОТЕКТОРЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ШИНЫ

В статье представлены результаты исследований факторов, позволяющих оценить эксплуатационную надежность удержания шипов противоскольжения в протекторе автомобильной шины.

Автомобильное колесо, ошиповка шин, усталостные процессы, температура, угловая жесткость.

Оценка надежности и долговечности элементов шипованной зимней автомобильной шины при ее проектировании, изготовлении и эксплуатации является одной из важнейших задач инженера-конструктора. При этом нужно получить шипованную шину по конкурентной цене, с конкурентными преимуществами по отношению к аналогам [1].

Основная проблема при эксплуатации зимней шипованной шины – износ и выпадение шипов из протектора, что ухудшает работоспособность изделия в целом [2, 3].

Для моделирования и исследования в лабораторных условиях усталостных процессов износа, происходящих в динамической системе «протектор шины – шип», был разработан стенд [4], кинематическая схема которого показана на рисунке 1.

Значение угла между вертикальной осью шипа и условной нормали к поверхности протектора в процессе соприкосновения с дорожным полотном изменяется от 0 (в начальный момент контакта), доходит до максимального значения и возвращается в ноль в конце контакта (рис. 2). Такое колебание шипа относительно выступа протектора шины происходит при каждом обороте колеса. Зная диаметр автомобильного колеса можно сопоставить пробег автомобиля и количество циклических движений шипа $N_{цикл}$.

$$N_{цикл} = \frac{T \cdot 10^6}{\pi \cdot D_{кол}}$$

где T – пробег автомобиля, тыс. км;
 $D_{кол}$ – диаметр колеса, м.

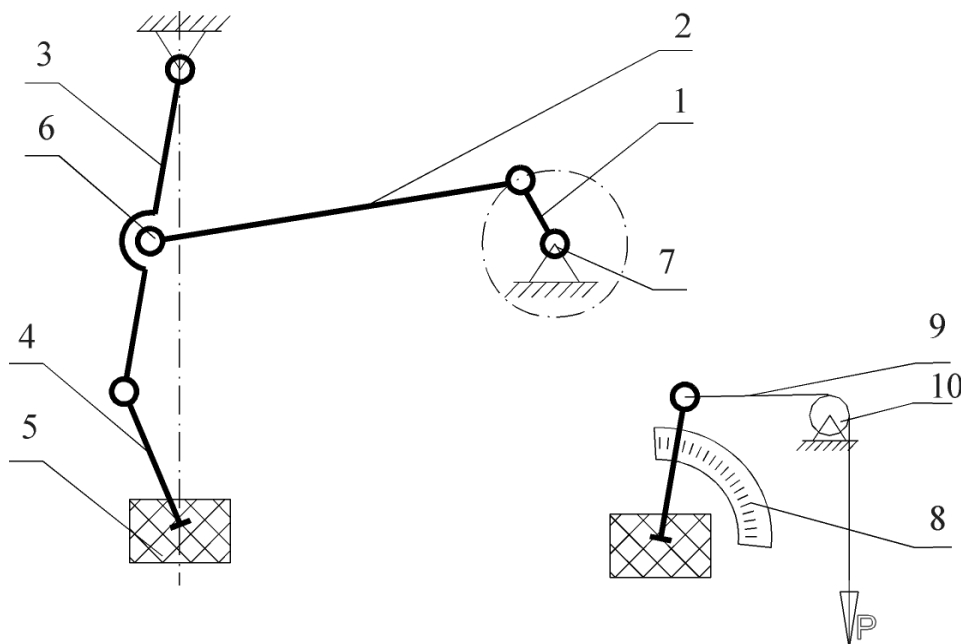


Рис. 1. Кинематическая схема стенда: 1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – качалка; 4 – макет шипа; 5 – элемент протектора шины; 6 – осевой шарнир; 7 – стойка; 8 – угловой измеритель; 9 – стрелочный индикатор; 10 – ролик

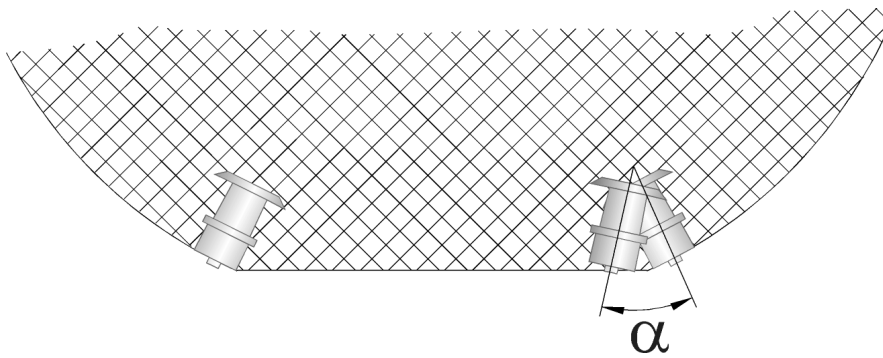


Рис. 2. Кинематика движения шипа относительно выступа протектора при качении автомобильной шины

Стенд, изображенный на рисунке 1, не учитывал особенности влияния силового каркаса шины на механизм износа в системе «протектор шины – шип».

Для приближения условий лабораторного эксперимента к реальным условиям потребовалась модернизация стенда. Модернизированный лабораторный стенд, изображенный на рисунке 3, позволяет проводить исследования на реальном автомобильном колесе в сборе. Кроме того, предусмотрен контроль температуры в зоне контакта шипа с резиной протектора и принудительное охлаждение воздухом для стабилизации тепловых процессов в протекторе шины.

Лабораторный стенд позволяет моделировать кинематику шипа, установленного в протектор шины, при этом траектория движения шипа приближена к реальным условиям (равномерное движение автомобиля со скоростью до 60 км/ч).

Износ стенок отверстия в протекторе шины с установленным шипом ускоряется при неблагоприятных условиях: сухое дорожное покрытие, эксплуатация шипованной шины при положительных температурах в осенний и весенний периоды.

Исходя из предположения, что износ в системе «протектор шины – шип» в значительной степени связан с механическими и термическими процессами, в данном исследовании применяется ускоренная методика. Установленный в глухое отверстие шип противоскольжения совершает в отверстии возвратно-поступательные движения с заданными промежутками времени непрерывными циклами с частотой до 1380 мин⁻¹. Интенсивность процесса ограничена величиной нагрева шипа и стенок отверстия на начальных этапах исследования, температура которых не должна превышать критических для материала протектора значений, составляющих 100–110 °С.

По окончании каждого цикла производятся измерения температуры в зоне контакта шип – резина и угловой жесткости посадки шипа.

Конструкция стенда состоит из основания 1 и вертикальной стойки 2. В нижней части стойки установлен узел неподвижной консоли 4, предназначенный для установки колеса 3 в сборе. Колесо крепится на стандартной ступице с возможностью вращения и надежной фиксации в любом положении. Также предусмотрена возможность регулировки вылета данной консоли. В верхней части стойки установлена подвижная консоль 5, на которой размещен механизм

кинематической системы 7 стенда, электродвигатель 6, вентилятор 9, прижимная планка 10 и блок измерительной системы 8. Регулировка положения подвижной консоли по высоте обеспечивается направляющей с винтовым механизмом.

В качестве объекта эксперимента использовался шип типа 8-10-1 (рис. 4), установленный в отверстие протектора шины 205/55 R16 (рис. 5).

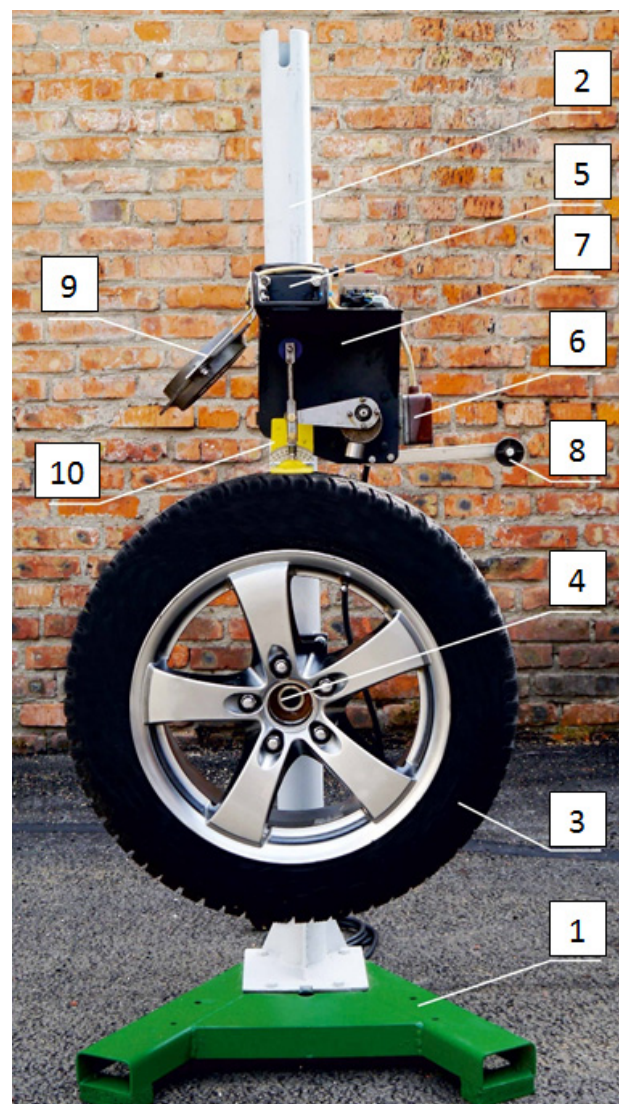


Рис. 3. Модернизированный лабораторный стенд



Рис. 4. Шип типа 8-10-1, установленный на шток

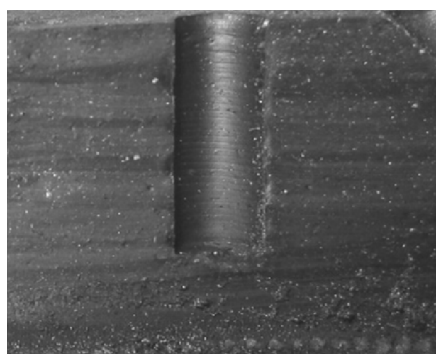


Рис. 5. Разрез исходного отверстия для установки шипа в протекторе шины

Определение жесткости посадки шипа производится при исходных крутящих моментах $M1$ 0,0441 Н·м и $M2$ 0,0882 Н·м.

Для исключения возникновения систематической погрешности, связанной с особенностями формы разных элементов протектора, все сравнительные исследования процесса износа в системе «шип противоскольжения – протектор шины» проводятся с установкой шипа на одинаковых участках протектора.

В таблице представлены данные, полученные в результате исследований по определению изменения значений температуры стенок отверстия и угловой жесткости посадки шипа 8-10-1 в шине 205/55 R16 в результате износа отверстия. Графические зависимости представлены на рисунках 6, 7, результат износа отверстия шипом противоскольжения – на рисунке 8.

Таблица

Значения температуры стенок отверстия и угловой жесткости посадки шипа 8-10-1 в протекторе шины 205/55 R16

Время, мин	Температура, °С	Угол наклона шипа, °	Угловая жесткость C_u , [1/рад]
0	20	1,5	38,216
30	81	2	28,662
70	89	3	19,108
130	86	3,5	16,378
190	82	4	14,331
250	79	4	14,331
310	79	4	14,331
370	79	4	14,331
730	71	4,5	12,739
Ср. знач.	74,00		19,158

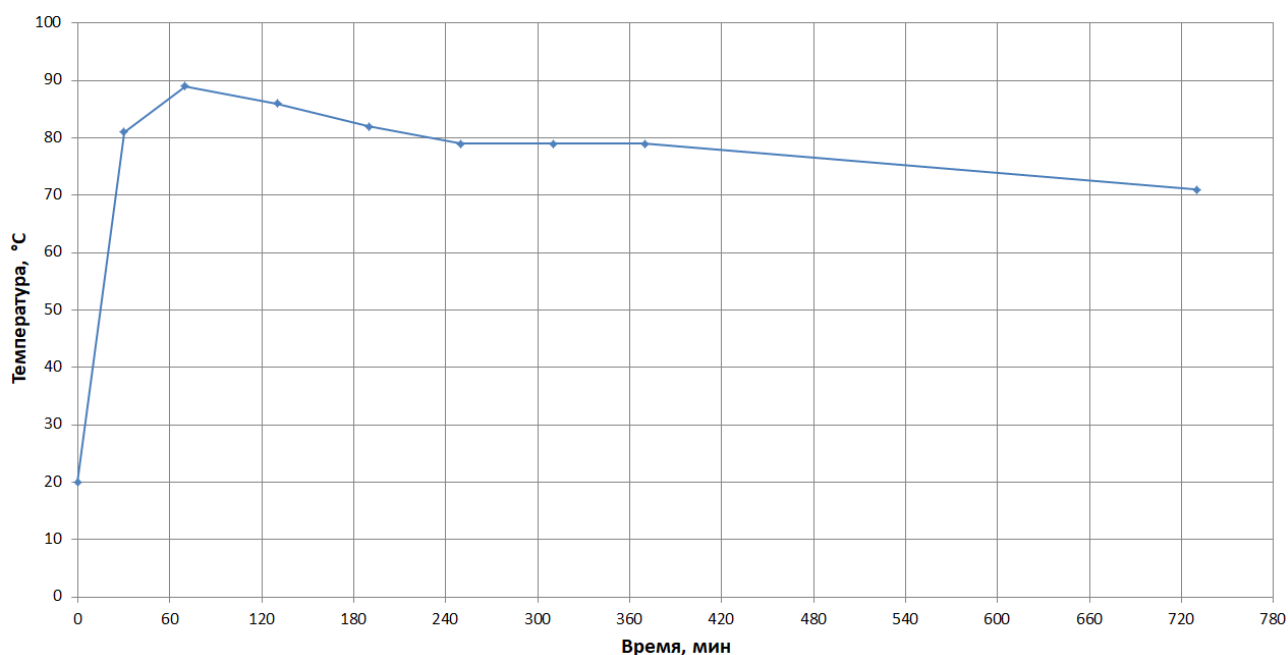


Рис. 6. Зависимость температуры стенок отверстия от времени испытания шипа противоскольжения типа 8-10-1 в протекторе шины 205/55 R16

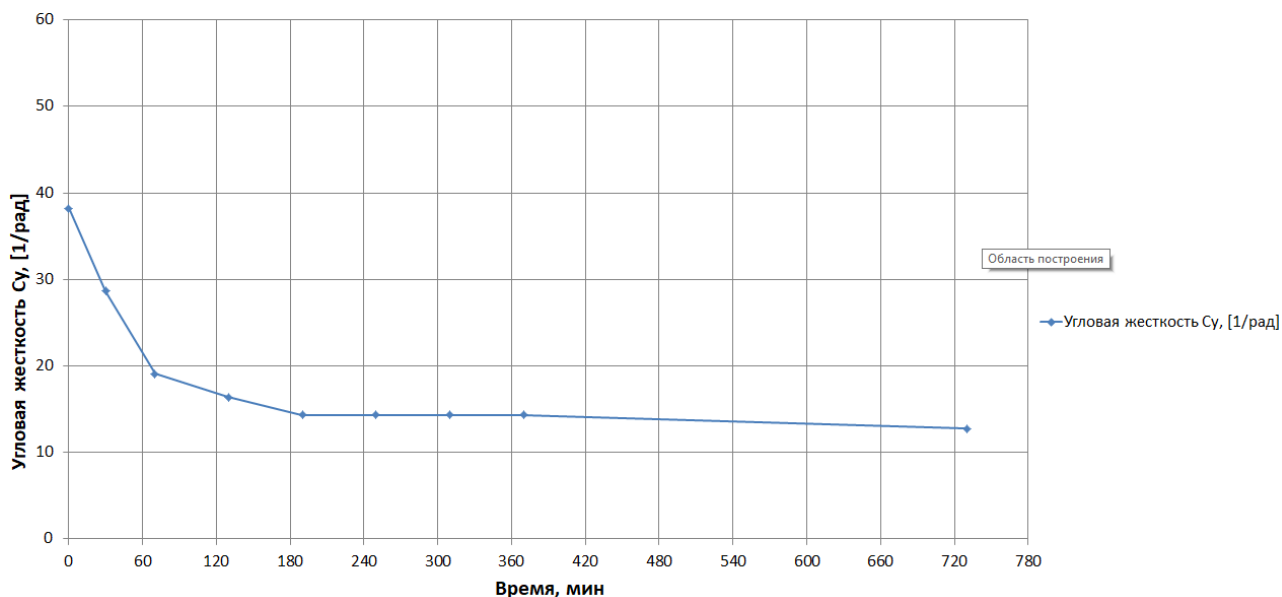


Рис. 7. Зависимость угловой жесткости посадки шипа типа 8-10-1 в протекторе шины 205/55 R16

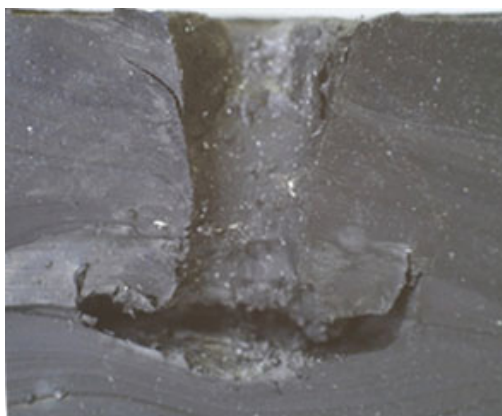


Рис. 8. Разрез отверстия для установки шипа в протекторе шины 205/55 R16 после исследования

В итоге разработан лабораторный стенд, позволяющий моделировать приближенную к реальным условиям эксплуатации кинематику шипа, установленного в протектор шины; методика исследования процессов износа, происходящих в динамической системе «протектор шины – шип». В качестве показателей величины износа приняты температура стенок отверстия и угловая жесткость посадки шипа.

Проведены исследования по определению значений температуры стенок отверстия и угловой жесткости посадки шипа 8-10-1 в шине 205/55 R16 в процессе износа отверстия.

Предложенная методика позволяет проводить оптимизацию конструктивных параметров протектора вновь проектируемых зимних ошипованных шин без проведения трудоемких и дорогостоящих натуральных исследований.

Литература

- ГОСТ Р 52747-2007. Шипы противоскольжения. Общие технические условия : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : введен впервые : введен 2009-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 12 с.
- Гулин, Р. В. Оптимизация технических и технологических параметров ошиповки автомобильных шин : специальность : 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Р. В. Гулин. – Москва : НИИШП, 2002 г.
- Шины с шипами. За и против. Производство и эксплуатация / Ю. Б. Михайлов и др. – Санкт-Петербург : Б.С.К., 1998. – 202 с.
- Старостин, А. В. Методика оценки и прогнозирования эксплуатационной надежности ошипованных шин : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Старостин Александр Владимирович. – Вологда, 2007. – 170 с.

A.A. Frolov, A.S. Stepanov, S.A. Frolov
Vologda State University

STUDY OF ANTI-SKID SPIKES RETENTION DURABILITY IN CAR TIRE TREAD

The article presents the results of the study of factors that allow us to assess the reliability of the retention of anti-skid spikes in the tread of a car tire.

Car wheel, tire pinching, fatigue processes, temperature, stiffness.



РЕЖУЩИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ТИТАНА С ЖЕЛЕЗО-МОЛИБДЕНОВОЙ СВЯЗКОЙ

Экспериментально установлен обнадеживающий уровень режущих свойств твердых сплавов на основе карбида титана с железо-молибденовой связкой. Молибден, способный растворяться в карбиде титана, улучшает взаимодействие связки с карбидной основой, снижая пористость, повышая твердость и прочность сплава. Молибден создает в связке структуру высоколегированного феррита с интерметаллидной упрочняющей фазой, которая обладает теплостойкостью 700–750 °С. Установлены корреляции твердости, прочности, теплостойкости с износом сплавов при резании. Наиболее устойчивой является корреляция с «горячей» твердостью. Сделан вывод, что для повышения режущих свойств сплава на основе карбида титана необходимо создание специальной стали с теплостойкостью 800–850 °С и «горячей» твердостью HV350–400 при этих температурах.

Твердый сплав, карбид титана, сталь, молибден, феррит, интерметаллид, теплостойкость.

В настоящее время в металлообработке в качестве режущих материалов преимущественно используются классические твердые сплавы на основе карбида вольфрама с добавлением карбида титана и с кобальтовой связкой. Наиболее перспективным направлением считается использование сменных твердосплавных пластин с многослойными карбидо-нитридо-оксидными износостойкими покрытиями. Ограниченно применяются (в основном для чистового точения) пластины из безвольфрамовых твердых сплавов на основе карбида (карбонитрида) титана с никель-молибденовой связкой.

Приемлемые режущие свойства сплавов TiC-Ni-Mo связаны с благоприятным влиянием молибдена на структуру и свойства сплавов. Молибден, растворяясь в карбиде титана, уменьшает склонность карбида к хрупкому разрушению, улучшает смачиваемость карбидов связкой, снижает пористость сплавов, упрочняет связку и повышает ее теплостойкость. Высокая теплостойкость никель-молибденовой связки объясняется образованием в ней упрочняющих интерметаллидов типа фазы Лавеса (MoNi₂) с температурой коагуляции и растворения в никеле около 750 °С. Соответственно эта температура определяет уровень рабочих температур при обработке резанием.

Большой практический интерес представляет изучение режущих и механических свойств родственной группы сплавов TiC-Fe-Mo (без достаточно дефицитного никеля).

При изучении влияния на свойства сплавов с основой из карбида титана сталей разных структурных классов [1] нами установлено, что только стали ферритного класса с интерметаллидным упрочнением могут быть эффективной связкой для карбида титана. Железо-молибденовая связка является самой простой двухкомпонентной сталью ферритного класса с интерметаллидами. Диаграмма состояния Fe-Mo показывает сильное ферритообразующее влияние молибдена: уже 3,3 % Mo закрывают аустенитную область, от 7 до 35 % Mo создают область переменной растворимости, в которой происходит выделение дисперсных интерметаллидов. Проведенный нами рентгенофазовый анализ [2] выявил в структуре спеченного сплава 70 % TiC, 5 % Mo, 25 % Fe от 2 до 5 % интерметаллида Fe₇Mo₆. Интерметаллид MoFe₂ не выявлен либо из-за малой концентрации, либо из-за его присутствия в твердом растворе феррита в виде зон с когерентным сопряжением (до образования самостоятельной фазы). Так или иначе, установлен механизм упрочнения в железо-молибденовой связке (твердый раствор + интерметаллиды).

Экспериментальные твердые сплавы на основе карбида титана с железо-молибденовой связкой показали высокий уровень механических свойств (прочности, твердости, износостойкости), повышенный уровень режущих свойств (табл.) по сравнению со сплавами с железной и стальными связками [3–5].

Таблица

Режущие и механические свойства твердых сплавов на основе карбида титана с железо-молибденовой связкой

№ п/п	Состав сплава, % масс	Износ резанием η_2/T , мм/мин	Предел прочности при изгибе, МПа	Твердость HRA	Износ абразивом, мг
1	70 % TiC, 30 % Fe	0,78	790	86	20,2
2	80 % TiC, 20 % Fe	0,40	700	88,5	14,5
3	70 % TiC, 2,5 % Mo, 27,5 % Fe	0,37	860	88	16,5
4	70 % TiC, 5 % Mo, 25 % Fe	0,25	970	89,5	7,2
5	70 % TiC, 10 % Mo, 20 % Fe	0,33	880	88,5	8,5
6	80 % TiC, 5 % Mo, 15 % Fe	0,17	830	91	5,7

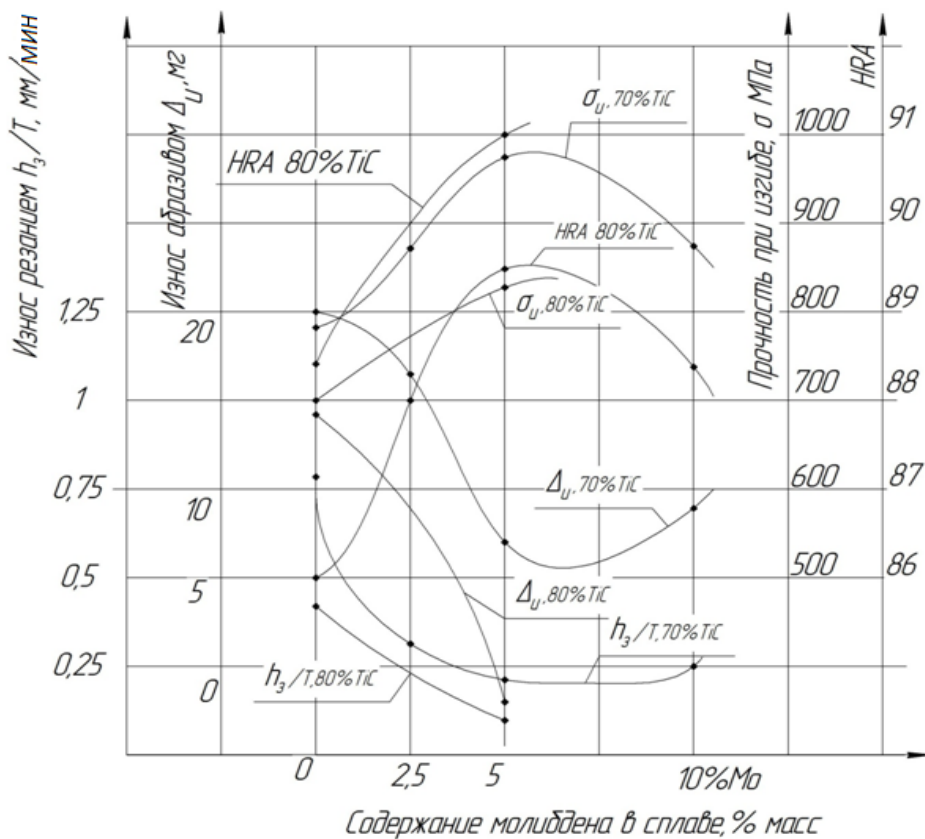


Рис. 1. Влияния содержания молибдена на свойства сплавов 70 % TiC-Мо-Fe

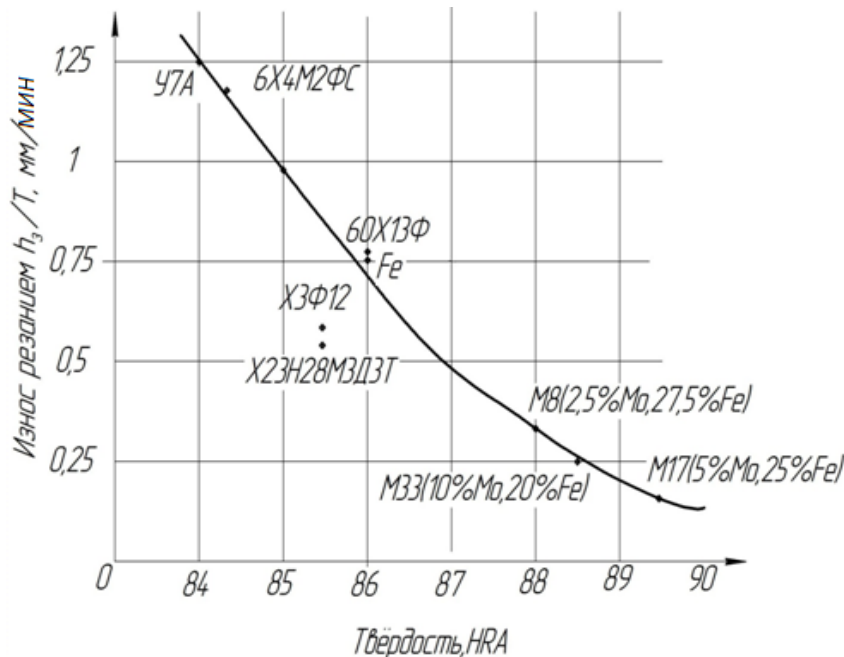


Рис. 2. Влияние твердости на износ резанием сплавов на основе 70 % TiC со стальными [1] и железо-молибденовыми связками

Методика оценки износа сплавов при абразивном механизме изнашивания приведена в нашей работе [6], износа при резании – [7, 8].

Графическая обработка экспериментальных данных (рис. 1) проявляет закономерное положительное влияние молибдена при его содержании до 5 % масс. на все свойства сплавов TiC-Fe-Мо. Главное – значительно уменьшается износ абразивом (в 4 раза) и износ резанием (в 3 раза) по сравнению со сплавами TiC-Fe. Дальнейшее повышение содержания молиб-

дена до 10 % несколько снижает все свойства сплавов. Избыточное содержание молибдена приводит к снижению микротвердости карбидной фазы (Ti,Mo)C по сравнению с TiC, к образованию коалесценции: кольцевой структуры карбидных зерен, когда вокруг ядра TiC располагается сопряженная область карбидного твердого раствора (Ti,Mo)C с ослаблением связи между TiC и (Ti,Mo)C, к выделению в большом объеме крупных интерметаллидных частиц Fe₇Mo₆, которые охрупчивают связку.

В сплавах на основе 70 % TiC со стальными и железо-молибденовыми связками исследованы корреляционные связи между износом резанием и другими свойствами сплавов.

При увеличении твердости с HRA85 (у сплавов 70 % TiC – сталь У7А и 70 % TiC – сталь Х23Н28М3Д3Т) до HRA89,5 (у сплава 70 % TiC, 5 % Мо, 25 % Fe) износ резанием снижается до 0,25 мм/мин (рис. 2). Однако при значениях твердости HRA85-86 корреляционная связь отсутствует (значения износа резанием имеют значительный разброс). Зависимость приобретает устойчивый характер при более высоких значениях твердости (более HRA87), которые характерны для сплавов с железо-молибденовой связкой. Зависимость (с увеличением твердости сплава снижается его износ резанием) связана с повышением сопротивления режущей кромки смятию и пластическому течению сплава под действием сил резания. Ниже корреляционной зависимости находятся сплавы со связками из теплостойких сталей Х3Ф12 и Х23Н28М3Д3Т, более высокая горячая твердость которых снижает износ резанием.

Высокие значения твердости (HRA88 – 89,5) обнаружены только у сплавов с железо-молибденовыми связками, которые обладают также более высокой прочностью и износостойкостью, что делает все корреляционные связи (рис. 2–5) предсказуемыми: чем выше твердость и прочность, тем меньше износ абразивом, тем ниже износ при резании (выше режущие свойства сплавов).

При увеличении прочности при изгибе с 450 МПа (у сплава 70 % TiC – сталь У7А) до 970 МПа (у сплава

70 % TiC, 5% Мо, 25 % Fe) износ резанием монотонно снижается по аналогичной зависимости: чем выше прочность, тем меньше износ резанием (рис. 3). Это связано с повышением сопротивления разрушению режущей кромки из-за выкрашивания карбидных зерен. Ниже зависимости находится сплав с теплостойкой сталью Х3Ф12, у которой высокая «горячая» прочность незначительно уступает «холодной».

При уменьшении износа абразивом с 32,5 мг (у сплава 70 % TiC – сталь 60Х13Ф) до 7,2 мг (у сплава 70 % TiC, 5 % Мо, 25 % Fe) износ резанием монотонно снижается по слегка вогнутой зависимости от 0,95 мм/мин до 0,25 мм/мин (рис. 4). Износ резанием (вследствие пластического течения при недостаточной теплостойкости режущего материала и, прежде всего, связки, вследствие выкрашивания карбидных зерен из-за недостаточно прочных связей между TiC и сталью, из-за недостаточной прочности и износостойкости стальной связки) имеет сходную природу с износом абразивом (микрорезанием материала). Это подтверждает корреляционная зависимость с относительно небольшим разбросом значений износа резанием, которые объясняются проявлением других свойств сплавов, прежде всего теплостойкости. Повышенная теплостойкость стали Х23Н28М3Д3Т обеспечивает сплаву несколько лучшие режущие свойства, чем по линии основной зависимости. Группа сплавов с железо-молибденовыми связками обладает наилучшим (среди представленных сплавов) комплексом механических и режущих свойств.

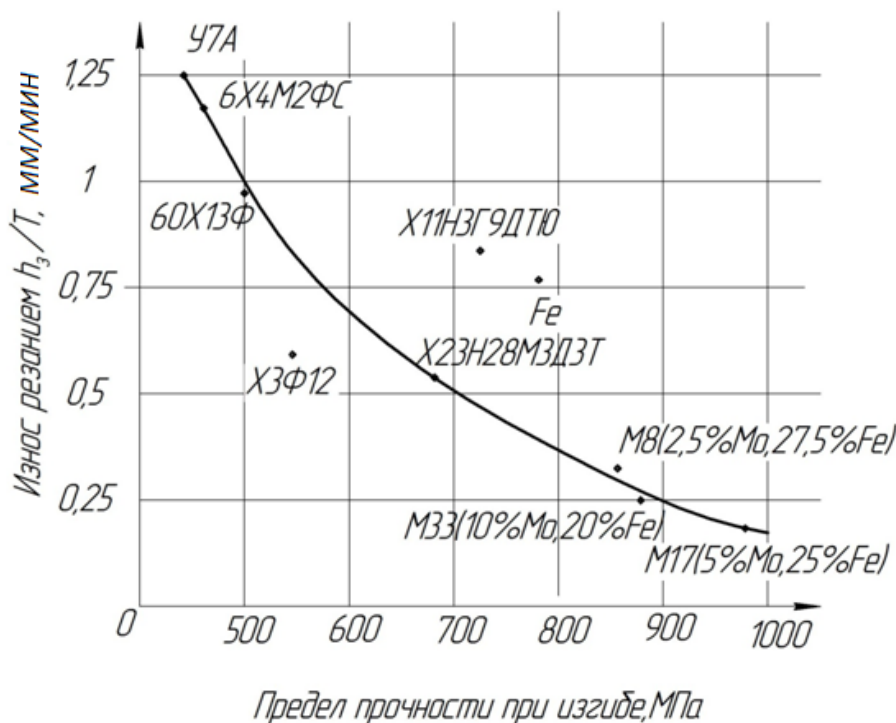


Рис. 3. Влияние прочности при изгибе на износ резанием сплавов на основе 70 % TiC со стальными [1] и железо-молибденовыми связками

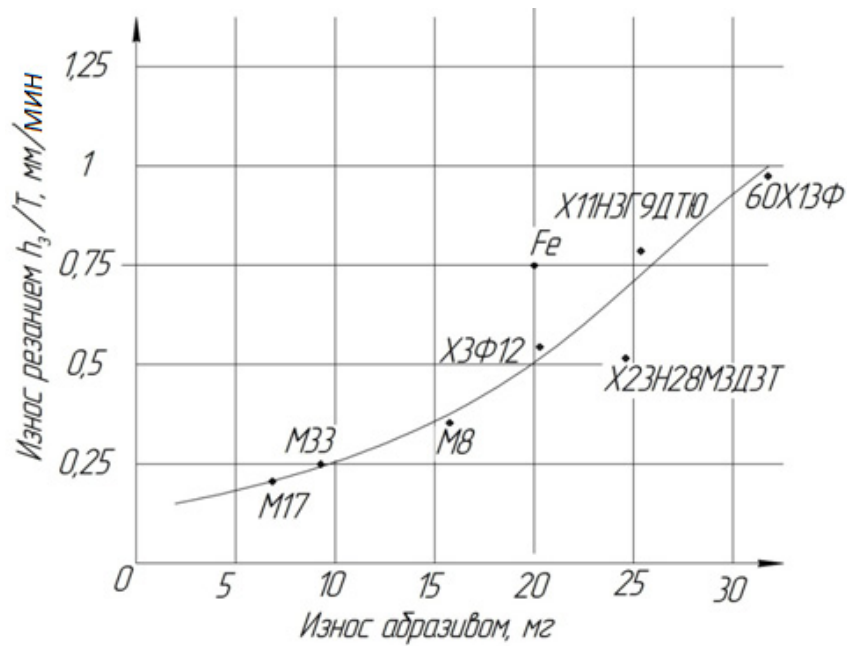


Рис. 4. Влияние износа абразивом на износ резанием сплавов на основе 70 % TiC со стальными [1] и железо-молибденовыми связками

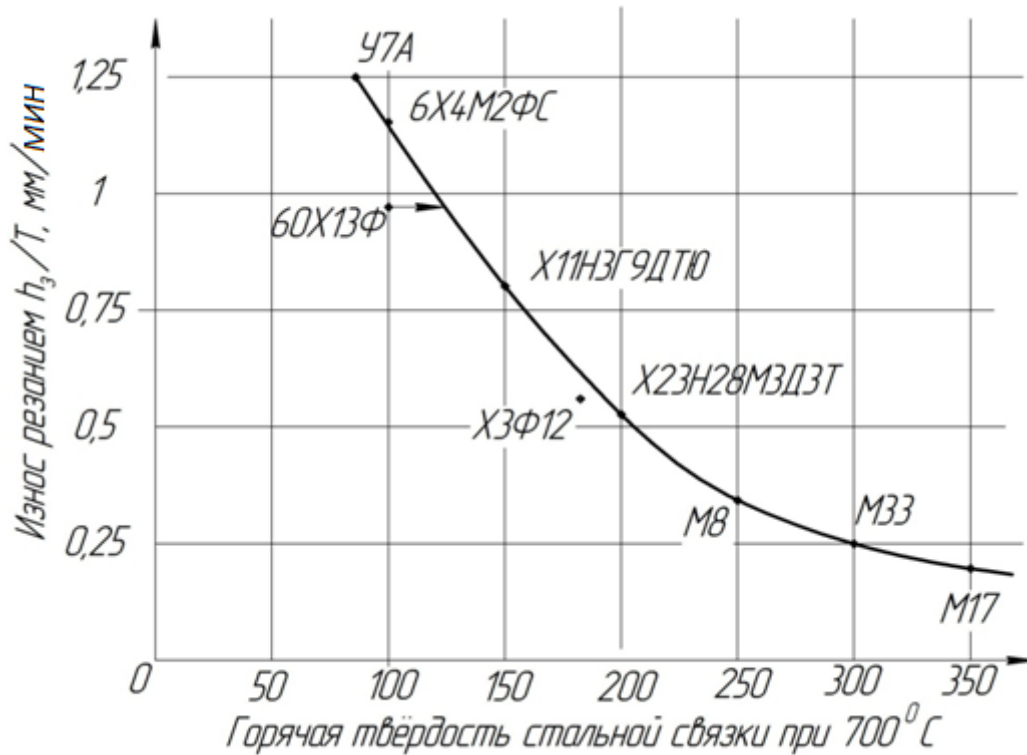


Рис. 5. Влияние горячей твердости на износ резанием сплавов на основе 70 % TiC со стальными [1] и железо-молибденовыми связками

При износе абразивом так же, как и при износе резанием, происходит нагрев изнашиваемого материала, только локальный. Поэтому при обоих видах износа особое значение приобретают «горячие» свойства материалов. «Горячая» твердость сталей, использовавшихся нами в качестве связки в сплавах на основе карбида титана, экспериментально не оценивалась, установлена ориентировочно по приведенным данным для инструментальных сталей [9]. Для корреляционной зависимости взяты сплавы с прочностью при изгибе не ниже 600 МПа.

Построенная зависимость (рис. 5) строго укладывается в ожидаемую тенденцию: с ростом теплоустойчивости сплава (которая полностью зависит от теплоустойчивости, или «горячей» твердости связки) уменьшается его износ при резании (иначе – улучшаются режущие свойства сплава). При увеличении «горячей» твердости стальной связки с $HV_{700}^0=100$ (у стали У7А и железной связки с растворившимся в ней при спекании титаном) до $HV_{700}^0=250$ (в связках М33 при 10 % Мо и М17 при 5 % Мо) износ резанием снижается по монотонной зависимости, которая ста-

новится более пологой при «горячей» твердости выше $HV_{700}^0=250$ и переходит в область ожидаемых значений с некоторым разбросом. Эта корреляция имеет наименьший разброс значений, что подтверждает первостепенное влияние теплостойкости на режущие свойства материалов. Эта корреляционная зависимость показывает, что в эффективном режущем твердом сплаве на основе карбида титана стальная связка должна обладать «горячей» твердостью на уровне $HV400$ при $700\text{ }^\circ\text{C}$ и сохранять свою структуру и теплостойкость до $850\text{ }^\circ\text{C}$ (что соответствует теплостойкости твердых сплавов TiC-WC-Co).

Можно утверждать, что подобные корреляционные связи между износом резанием и механическими свойствами действуют также в сплавах с более высоким содержанием карбида титана (при 80–90 % TiC в сплаве) при меньшем износе резанием. Лучший результат у сплава 80 % TiC, 5 % Mo, 15 % Fe: износ резанием составил 0,17 мм/мин.

По уровню свойств, прежде всего по режущим свойствам, сплавы TiC-Fe-Mo (без оптимизации состава и технологии) существенно уступают сплавам TiC-WC-Co (у сплава T15K6 износ резанием составил 0,02 мм/мин). Однако наши работы показывают, что возможно создание весьма теплостойкой стали [10] для стальной связки в сплавах на основе карбида титана, а значит, существенное повышение режущих свойств сплавов TiC-сталь до уровня стандартных твердых сплавов.

Литература

1. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов на основе карбида титана со стальными связками / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства : материалы национальной науч.-практ. конф. 28–29 марта 2018 г.: Ч. 4: Технические науки / Пензенский ГУАиС. – Пенза, 2018. – С. 204–209.
2. Яняк, С. В. Анализ структуры и свойств твердых сплавов на основе карбида титана с железомолибденовой связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 2 (4). – С. 22–26.
3. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного производства...: материалы XIII международной науч.-техн. конф. 27 марта 2018 г. – Вологда, 2018. – С. 281–284.
4. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов на основе карбида титана с железомолибденовой связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2018. – № 1 (1). – С. 23–27.
5. Яняк, С. В. Влияние содержания карбида титана на свойства твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Актуальные проблемы науки и практики...: материалы национальной науч.-практ. конф. 28–29 марта 2018 г. – Пенза, 2018. – С. 210–214.
6. Комиссарова, И. И. Экспериментальная оценка и анализ износостойкости материалов / И. И. Комиссарова, С. В. Яняк, И. О. Берсенев // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2018. – № 2 (2). – С. 6–10.
7. Яняк, С. В. Режущие свойства твердых сплавов на основе карбида титана с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 3 (5). – С. 78–81.
8. Яняк, С. В. Методика и результаты экспериментальной оценки режущих свойств твердых сплавов TiC – железо / С. В. Яняк, В. Ю. Яблокова // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства: технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы XIV Международной науч.-техн. конф. – Вологда, 2020. – С. 117–123.
9. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. – 5-е изд. – Москва : Металлургия, 1983. – 525 с.
10. Яняк, С. В. Анализ свойств и структуры специальной стали для связки в твердых сплавах на основе карбида титана / С. В. Яняк, И. И. Комиссарова // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : материалы XV Международной науч.-техн. конф. (8 декабря 2020 г.). – Вологда : ВоГУ, 2021. – С. 47–52.

S.V. Yaaniak, I.I. Komissarova
Vologda State University

CUTTING PROPERTIES OF HARD ALLOYS BASED ON TITANIUM CARBIDE WITH IRON-MOLYBDENUM BOND

An expressive level of cutting properties of hard alloys based on titanium carbide with iron-molybdenum bundle is defined experimentally. Molybdenum capable of dissolving in titanium carbide improves the interaction of bundles with a carbide basis, reducing porosity, increasing the hardness and strength of the alloy. Molybdenum creates a structure of high-alloyed ferrite with an intermetallic hardening phase in the bundle, which has a heat resistance of $700\text{--}750\text{ }^\circ\text{C}$. Correlations of hardness, strength, heat resistance with wear of alloys during cutting are established. The most stable is a correlation with "hot" hardness. It was concluded that to increase the cutting properties of the titan carbide base, it is necessary to create a special steel with heat resistance of $800\text{--}850\text{ }^\circ\text{C}$ and "hot" hardness of $HV350\text{--}400$ at these temperatures.

Carbide, titanium carbide, steel, molybdenum, ferrite, intermetallic, heat resistance.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аваев Александр Алексеевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)

chsu@chsu.ru

Андрианов Игорь Александрович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

avt@vogu35.ru

Безрукова Александра Игоревна

магистрант Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

sasha.bezrukova.95@mail.ru

Булавин Вячеслав Федорович

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

bulavin35@mail.ru

Булавина Тамара Георгиевна

кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

tamarabulavina53@gmail.com

Волкова Светлана Сергеевна

кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

malysheva.svetlana.s@gmail.com

Вудвуд Екатерина Руслановна

обучающийся Бендерского политехнического филиала Приднестровского государственного университета имени Т. Г. Шевченко

(Бендеры, Приднестровская Молдавская Республика)

katia-vudvud@mail.ru

Гудков Александр Геннадьевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоводоснабжения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

gudkovag@vogu35.ru

Джевецкая Екатерина Викторовна

преподаватель Бендерского политехнического филиала Приднестровского государственного университета имени Т. Г. Шевченко

(Бендеры, Приднестровская Молдавская Республика)

katia.ru93.93@mail.ru

Дианов Даниил Сергеевич

аспирант Вологодского научного центра Российской академии наук (Вологда, Россия)

daniil.dianov@gmail.com

Дианов Сергей Владимирович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Вологодского научного центра Российской академии наук (Вологда, Россия)
dianov.sv@mail.ru

Карпов Денис Федорович

старший преподаватель кафедры теплогазоводоснабжения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
karpovdf@vogu35.ru

Комиссарова Ирина Игоревна

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
IRIGKOM@mail.ru

Корнеев Андрей Петрович

старший преподаватель кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Белорусско-Российского университета (Могилев, Республика Беларусь)
AnKorn@tut.by

Кулева Наталья Ивановна

инженер кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
kulevani@vogu35.ru

Маслович Сергей Федорович

кандидат технических наук, доцент кафедры математических проблем управления и информатики Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины (Гомель, Республика Беларусь)
maslovich@gsu.by

Огородов Леонид Иванович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры гидравлики и прочности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Санкт-Петербург, Россия)
l.ogorodov@mail.ru

Павлов Михаил Васильевич

кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоводоснабжения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
pavlovmv@vogu35.ru

Полянский Андрей Михайлович

кандидат технических наук, 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

Пустоветов Михаил Юрьевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения Технологического института (филиала) Донского государственного технического университета (Азов, Россия)
mgsn2006@yandex.ru

Ржеуцкая Светлана Юрьевна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматике и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

avt@vogu35.ru

Ржеуцкий Александр Викторович

кандидат технических наук, ведущий программист-разработчик ООО «Логасофт-Плюс» (Вологда, Россия)

avt@vogu35.ru

Сеглин Роман Олегович

студент Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины (Гомель, Республика Беларусь)

roma.seglin@mail.ru

Соловьев Сергей Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

solovevsa@vogu35.ru

Соловьева Анастасия Андреевна

аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

solovevaaa@vogu35.ru

Старостин Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

starostinav@vogu35.ru

Степанов Александр Сергеевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

stepanovas@vogu35.ru

Фролов Александр Анатольевич

кандидат технических наук, директор Института машиностроения, энергетики и транспорта Вологодского государственного технического университета (Вологда, Россия)

fa73@mail.ru

Фролов Сергей Анатольевич

заведующий лабораторией Института машиностроения, энергетики и транспорта Вологодского государственного технического университета (Вологда, Россия)

fsa84@bk.ru

Шапкина Вероника Андреевна

кандидат педагогических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

vnk@bk.ru

Швецов Анатолий Николаевич

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информатики и информационных технологий Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

smithv@mail.ru

Шевцов Леонид Сергеевич

обучающийся Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета
(Вологда, Россия)

sle6488@gmail.com

Яняк Сергей Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)

tms@vogu35.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Avaev Aleksandr Alekseevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)
chsu@chsu.ru

Andrianov Igor Alexandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
avt@vogu35.ru

Bezrukova Alexandra Igorevna

Master's student at Civil Engineering Institute of Vologda State University (Vologda, Russia)
sasha.bezrukova.95@mail.ru

Bulavin Vyacheslav Fyodorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)
bulavin35@mail.ru

Bulavina Tamara Georgievna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Equipment, Vologda State University (Vologda, Russia)
bulavinatg@vogu35.ru

Volkova Svetlana Sergeevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics, Vologda State University (Vologda, Russia)
malysheva.svetlana.s@gmail.com

Vudvud Ekaterina Ruslanovna

Student at the Transnistrian State University named after T. G. Shevchenko. Bendery Polytechnic Branch (Bendery, Pridnestrovskaya Moldavskaya Respublika)
katia-vudvud@mail.ru

Gudkov Alexander Gennadievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply, Vologda State University (Vologda, Russia)
gudkovag@vogu35.ru

Dzhevetskaya Ekaterina Viktorovna

Lecturer at the Transnistrian State University named after T. G. Shevchenko. Bendery Polytechnic Branch (Bendery, Pridnestrovskaya Moldavskaya Respublika)
katia.ru93.93@mail.ru

Dianov Daniil Sergeevich

Postgraduate student of Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Vologda, Russia)
daniil.dianov@gmail.com

Dianov Sergey Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Vologda, Russia)
dianov.sv@mail.ru

Karpov Denis Fyodorovich

Senior Lecturer, the Department of Heat and Gas Supply, Vologda State University (Vologda, Russia)
karpovdf@vogu35.ru

Komissarova Irina Igorevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Highways, Vologda State University (Vologda, Russia)
IRIGKOM@mail.ru

Korneev Andrey Petrovich

Senior Lecturer, Department of Electric Drive and Automation of Industrial Installations, Belarusian-Russian University (Mogilev, Republic of Belarus)
AnKorn@tut.by

Kuleva Natalia Ivanovna

Engineer of the Department of Mechanical Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
kulevani@vogu35.ru

Maslovich Sergey Fedorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematical Problems of Management and Informatics, Gomel State University named after F. Skaryna (Gomel, Republic of Belarus)
maslovich@gsu.by

Ogorodov Leonid Ivanovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Hydraulics and Strength, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (St. Petersburg, Russia)
l.ogorodov@mail.ru

Pavlov Mikhail Vasilievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply, Vologda State University (Vologda, Russia)
pavlovmv@vogu35.ru

Polyansky Andrey Mikhailovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
ampol@yandex.ru

Popov Igor Pavlovich

Senior Lecturer, the Department of Mechanical Engineering Technology, Metal-Cutting Machine Tools and Tools, Kurgan State University (Kurgan, Russia)
ip.popov@yandex.ru

Pustovetov Mikhail Yurievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology of the Technological Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Don State Technical University" (Azov, Russia)
mgsn2006@yandex.ru

Rzheutskaya Svetlana Yurievna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
avt@vogu35.ru

Rzheutsky Alexander Viktorovich

Candidate of Technical Sciences, Lead Programmer-Developer Logasoft-Plus LLC (Vologda, Russia)
avt@vogu35.ru

Seglin Roman Olegovich

Student of Gomel State University named after F. Skaryna (Gomel, Republic of Belarus)
roma.seglin@mail.ru

Solovyev Sergey Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering of Civil Engineering Institute, Vologda State University (Vologda, Russia)
solovevsa@vogu35.ru

Solovyeva Anastasiya Andreevna

Post graduate student of the Department of Industrial and Civil Engineering of Civil Engineering Institute, Vologda State University (Vologda, Russia)
solovevaaa@vogu35.ru

Starostin Alexander Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)
starostinav@vogu35.ru

Stepanov Aleksandr Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Machine Building Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)
alex.stepanov@mail.ru

Frolov Aleksandr Anatolyevich

Candidate of Technical Sciences, Director of the Institute of Machine Building, Power Engineering and Transport, Vologda State University (Vologda, Russia)
fa73@mail.ru

Frolov Sergey Anatolievich

Head of Laboratory, Institute of Mechanical Engineering, Energy and Transport, Vologda State Technical University (Vologda, Russia)
fsa84@bk.ru

Shapkina Veronika Andreevna

Candidate of Pedagogy, Associate Professor of the Department of Highways, Vologda State University (Vologda, Russia)
vrnk@bk.ru

Shvetsov Anatoly Nikolaevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Informatics and Information Technologies, Vologda State University (Vologda, Russia)
smithv@mail.ru

Shevtsov Leonid Sergeevich

Student of Civil Engineering Institute, Vologda State University (Vologda, Russia)
sle6488@gmail.com

Yanyak Sergey Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)
tms@vogu35.ru

Научное издание

ВЕСТНИК ВОЛОГОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Технические науки
№ 3 (13) / 2021

Главный редактор А. А. Кочкин

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС77-75456 от 05.04.2019 г.
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

Подписано в печать 23.11.2021. Выпуск в свет 30.11.2021. Формат 60 × 84/8
Уч.-изд. л. 9,85. Усл. печ. л. 11,00. Тираж 64 экз. Заказ № 787. Бесплатно

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»
160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15

Отпечатано: ООО РА «Эпатаж»
160004, г. Вологда, ул. Ленинградская, 38
Тел.: (8172) 724-800, 70-25-77, e-mail: ra-epatazh@mail.ru