

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ВЕСТНИК
ВОЛОГОДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 2018 г.

№ 4 (18) / 2022

СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВОЛОГДА
2022

№ 4 (18) / 2022 / ДЕКАБРЬ. Выходит 4 раза в год.

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

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

Серия: Технические науки.

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

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

Заместители главного редактора: *А.Е. Немировский*, доктор технических наук, профессор Вологодского государственного университета, *А.Н. Швецов*, доктор технических наук, профессор Вологодского государственного университета.

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

Члены редколлегии:

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

С.Н. Овсянников, д-р техн. наук, проф. ТГАСУ,
В.П. Подольский, заслуженный деятель науки РФ,
д-р техн. наук, проф. ВГТУ,
А.М. Полянский, канд. техн. наук, доц. ВоГУ,
В.А. Пиеничкина, д-р техн. наук, проф. ВолгГТУ,
В.И. Римшин, д-р техн. наук, чл.-корр. РААСН,
проф. НИИСФ РААСН,
А.С. Степанов, канд. техн. наук, доц. ВоГУ,
А.А. Сукончиков, канд. техн. наук, доц. ВоГУ,
Н.Н. Трушин, д-р техн. наук, проф. ТулГУ,
В.Д. Чертовской, д-р техн. наук, проф. ГУМРФ
им. адм. С.О. Макарова,
Д.С. Шишигин, канд. техн. наук, доц. ВоГУ,
С.Л. Шишигин, д-р техн. наук, проф. ВоГУ,
В.А. Шорин, д-р хим. наук, проф. ВоГУ,
И.Л. Шубин, д-р техн. наук, чл.-корр. РААСН,
директор НИИСФ РААСН

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

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

Оригинал-макет *Н.В. Подхомутова*.

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

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

Отпечатано: ООО РА «Эпатаж», 160004, Российская Федерация, Вологодская область, г. Вологда, ул. Ленинградская, 38. Тел.: (8172) 724-800, 70-25-77, e-mail: ra-epatazh@mail.ru.

Подписано в печать 07.12.2022 г. Выпуск в свет 23.12.2022 г. Формат А4 (60 x 84/8).

Уч.-изд. л. 11,54. Усл. печ. л. 12,75. Тираж 30 экз. Заказ № 847. Цена свободная.

ISSN 2658-3399

© ФГБОУ ВО «Вологодский
государственный университет», 2022

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

SCHOLARLY JOURNAL

First published in 2018

No. 4 (18) / 2022

SERIES: TECHNICAL SCIENCES

VOLOGDA
2022

No. 4 (18) / 2022 / DECEMBER. It is issued 4 times a year.

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

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

Series: Technical sciences.

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

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

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

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

Members of the Editorial Board:

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

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

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

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

N.M. Demytyev, Candidate of Technical Sciences, Associate Prof. of VSU,

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

I.V. Zefirov, Candidate of Technical Sciences, Associate Prof. of VSDA named after N.V. Vereshchagin,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A.M. Polyansky, Candidate of Technical Sciences, Associate prof. of VSU,

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

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

A.S. Stepanov, Candidate of Technical Sciences, Associate prof. of VSU,

A.A. Sukonshchikov, Candidate Technical Sciences, Associate prof. of VSU,

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

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

D.S. Shishigin, Candidate of Technical Sciences, Prof. of VSU,

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

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

I.L. Shubin, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAACS, Director of Research Institute of Building Physics of RAACS

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.

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

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

Printed by: LLC RA "Epatage", 160004, Russian Federation, Vologda region, Vologda, Leningradskaya st., 38. Tel.: (8172) 724-800, 70-25-77, e-mail: ra-epatazh@mail.ru.

Passed for printing 07.12.2022. Date of Publication 23.12.2022. Format A4 (60 x 84/8).

Conventional printed sheets 15.5. Published pages 16.5. Number of copies 46. Order 847. Open price.

ISSN 2658-3399

© FSBEI HE Vologda State University, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Строительные конструкции, здания и сооружения

<i>Казакова И.С., Иньков А.Э.</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АУТРИГЕРОВ В СТВОЛЬНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ.....	7
---	---

Экологическая безопасность, инженерные сети

<i>Гудков А.Г.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЯХ С РЕГУЛЯТОРАМИ РАСХОДА И НАПОРА	16
<i>Соколов Л.И., Силинский В.А.</i> СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИЗ СОЛЕННОЙ ПУТЕМ МНОГОСТАДИЙНОЙ ОБРАБОТКИ	22
<i>Соловьева Е.В.</i> О ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СХЕМЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ	27

Строительство дорог

<i>Шорин В.А., Вельсовский А.Ю., Мясникова С.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕНЕТРАЦИИ (ВЯЗКОСТИ) НЕФТЯНЫХ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ.....	31
---	----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

<i>Дианов С.В., Дианов Д.С.</i> ПРОТОТИП АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕТИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ	34
--	----

Управление в организационных системах

<i>Андрианов И.А.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ УЧЕБНЫХ ЗАДАНИЙ ПО ЯЗЫКУ PROLOG.....	39
<i>Кузьмин А.Г., Умаров М.Ф.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УДАЛЕННОГО КОНТРОЛЯ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТОНИИ И САХАРНОГО ДИАБЕТА С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПАЦИЕНТА	42
<i>Притыченко И.А., Сукощников А.А.</i> АРХИТЕКТУРА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПЛАНИРОВЩИКА ЗАДАНИЙ.....	46

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Технология машиностроения

<i>Булавин В.Ф., Булавина Т.Г.</i> ЦИФРОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАЛЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	50
<i>Козлов С.С., Григорьев Н.С., Степанов А.С., Булавин В.Ф., Яхричев В.В.</i> ПРОЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ОХЛАЖДАЮЩЕГО ТУННЕЛЬНОГО КОНВЕЙЕРА СРЕДСТВАМИ SOLIDWORKS FLOW SIMULATION.....	53
<i>Лобанов А.В., Трушин Н.Н.</i> ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК ФОРМА ОРГАНИЗАЦИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКИ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ И СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ.....	59
<i>Попов И.П.</i> КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА СТАБИЛИЗИРОВАННОГО РОТАТОРА.....	64
<i>Сигов А.Н., Старостин А.В., Кулева Н.И.</i> КВАЛИМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ МАШИН	68
<i>Яняк С.В., Комиссарова И.И.</i> РЕЖУЩИЕ СВОЙСТВА БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ «КАРБИД ТИТАНА – СПЕЦСТАЛЬ»	71

Наземные транспортно-технологические средства и комплексы

<i>Востров А.В.</i> КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ	78
<i>Смирнов П.И., Махди Ю.</i> ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ГАБАРИТА ПАССАЖИРА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОГО ГОРОДСКОГО ДВИЖЕНИЯ.....	81
<i>Смирнов П.И., Смирнов П.Е.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В РАМКАХ ФИРМЕННОЙ СИСТЕМЫ КОРРЕКТИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТО	88
<i>Сведения об авторах</i>	96

CONTENTS

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Building constructions, buildings and structures

<i>Kazakova I.S., Inkov A.E.</i> EFFECTIVENESS OF USING OUTRIGGERS IN TRUNK DESIGN SCHEME OF HIGH-RISE BUILDINGS.....	7
---	---

Environmental safety, engineering networks

<i>Gudkov A.G.</i> IMPROVEMENT OF FLOW DISTRIBUTION METHODOLOGY OF WATER PIPELINE SCHEMES WITH FLOW AND PRESSURE REGULATORS.....	16
<i>Sokolov L.I., Silinsky V.A.</i> BUILDING SYSTEMS OF NEW TECHNOLOGY FOR OBTAINING DRINKING WATER FROM SALT WATER BY MULTI-STAGE TREATMENT.....	22
<i>Solovyeva E.V.</i> ON TERRITORIAL SCHEME OF WASTE MANAGEMENT IN VOLOGDA REGION.....	27

Road construction

<i>Shorin V.A., Velsovsky A.Y., Myasnikova S.A.</i> STUDY OF PENETRATION (VISCOSITY) OF PETROLEUM ROAD BITUMEN FROM VARIOUS MANUFACTURERS.....	31
--	----

INFORMATION TECHNOLOGY

Automation and management of technological processes and industries

<i>Dianov S.V., Dianov D.S.</i> PROTOTYPE OF AGENT-ORIENTED MODEL FOR FORMING FOREST ROADS NETWORK.....	34
---	----

Management in organizational systems

<i>Andrianov I.A.</i> AUTOMATION OF CLASS ASSIGNMENTS CHECKING IN THE PROLOG LANGUAGE.....	39
<i>Kuzmin A.G., Umarov M.F.</i> DEVELOPMENT OF METHODS FOR REMOTE CONTROL OF ARTERIAL HYPERTENSION AND DIABETES MELLITUS USING MODERN MEANS OF PATIENT REMOTE MONITORING.....	42
<i>Pritychenko I.A., Sukonshchikov A.A.</i> ARCHITECTURE OF DISTRIBUTED TASK SCHEDULER.....	46

MECHANICAL ENGINEERING

Engineering technology

<i>Bulavin V.F., Bulavina T.G.</i> DIGITAL DESIGN IN SMALL MACHINE-BUILDING ENTERPRISES....	50
<i>Kozlov S.S., Grigoriev N.S., Stepanov A.S., Bulavin V.F., Yakhrichev V.V.</i> DESIGN SIMULATION OF COOLING TUNNEL CONVEYOR OPERATION BY MEANS OF SOLIDWORKS FLOW SIMULATION.....	53
<i>Lobanov A.V., Trushin N.N.</i> PATENT RESEARCH AS FORM OF ORGANIZING SCIENTIFIC RESEARCH PRACTICE OF UNDERGRADUATE AND POSTGRADUATE STUDENTS IN ENGINEERING MAJORS AND SPECIALTIES.....	59
<i>Popov I.P.</i> KINEMATICS AND DYNAMICS OF STABILIZED ROTATOR.....	64
<i>Sigov A.N., Starostin A.V., Kuleva N.I.</i> QUALIMETRIC INDICATORS OF DURABILITY AND WEAR OF MACHINE PARTS.....	68
<i>Ianiak S.V., Komissarova I.I.</i> CUTTING PROPERTIES OF TUNGSTENLESS CARBIDES «TITANIUM CARBIDE – SPECIAL STEEL».....	71

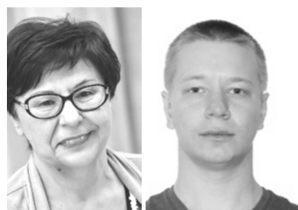
Land transport and technological means and complexes

<i>Vostrov A.V.</i> OPTIMIZATION CRITERION FOR DETERMINING HYBRID CAR CHARACTERISTICS	78
<i>Smirnov P.I., Mahdi Yu.</i> CHANGE IN VALUE OF PASSENGER DYNAMIC DIMENSION FOR VARIOUS MODES OF TRANSPORT IN CONDITIONS OF DENSE URBAN TRAFFIC.....	81
<i>Smirnov P.I., Smirnov P.E.</i> MODELING OF TRUCKS MAINTENANCE INTERVALS WITHIN THE FRAMEWORK OF CLOSED-PROPRIETARY SYSTEM FOR MAINTENANCE FREQUENCY CORRECTION.....	88
<i>Information about the authors</i>	99

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Строительные конструкции, здания и сооружения

УДК 69.032.22



И.С. Казакова, А.Э. Иньков
Вологодский государственный университет

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АУТРИГЕРОВ В СТВОЛЬНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

В статье приведены рекомендации по выбору оптимальной ствольной конструктивной схемы высотного здания в зависимости от требуемой высоты здания и расположения аутригеров. В исследовании использованы современные средства САПР для конструирования схем, расчета усилий, перемещений и подбора сечений элементов. Работа опирается на современную отечественную нормативную базу.

Высотные здания, ствольная конструктивная схема, аутригеры, эффективность.

Проблема увеличения плотности застройки в городах приводит к повышенному интересу проектирования высотных зданий как за рубежом, так и в нашей стране. В связи с этим выбор конструктивной схемы высотного здания является актуальным, поскольку конструктивная схема влияет на экономичность проектного решения здания.

Целями данного исследования является определение влияния аутригеров, введенных в ствольную конструктивную схему здания, на эффективность использования этой конструктивной схемы.

Для достижения поставленных целей были решены следующие задачи:

1. Корректное формирование расчетных схем в САПР «SCAD» v21.1.

2. Сбор нагрузок и формирование расчетных сочетаний нагрузок согласно требованиям СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [1].

3. Формирование расчетных сочетаний усилий и перемещений в САПР «SCAD» v21.1.

4. Определение расчетных усилий в несущих элементах конструктивных схем.

5. Подбор и унификация сечений стальных элементов по ГОСТ Р 57837-2017 «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок» [2] для колонн и ригелей.

6. Калькуляция материалов для возведения надземных несущих конструкций.

7. Сравнение расхода стали и бетона на 1 м² полезной площади здания для разных конструктивных схем.

8. Составление локальных сметных расчетов на возведение каркаса зданий.

9. Сравнение финансовых затрат на 1 м² полезной площади здания для разных конструктивных схем.

10. Визуализация результатов проведенных исследований.

Выбор каждой конструктивной схемы осуществлялся в соответствии с исследованиями, проведен-

ными ранее и представленными в работах В. Шуллера [3], Х. Энгеля [4], А.О. Баранова [5], М.В. Козлова и Е.Л. Безбородова [6]. Результаты расчета после проверки на соответствие требованиям СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные» [7] сравнивались между собой и оценивались аналитически.

В рассматриваемой схеме под стволом жесткости подразумевается железобетонный лестнично-лифтовый узел, который выполнен в виде замкнутого пространственного стержня-трубы. Он проходит по всей высоте здания и является основной несущей конструкцией, которая воспринимает часть вертикальных нагрузок и все горизонтальные нагрузки. Ствол жестко зашпунтован в фундаменте. Горизонтальные диски перекрытия равномерно располагаются по высоте, выполняют роль диафрагм и обеспечивают геометрическую неизменяемость стержня. Остальные вертикальные конструкции представлены связевым каркасом вокруг ствола жесткости и воспринимают небольшой процент горизонтальных нагрузок. Основное их назначение – восприятие и передача вертикальной нагрузки.

В работе рассматривается жилое здание высотой 40, 50 и 60 этажей (и общей высотой 132, 165 и 198 м соответственно), имеющее ствольную конструктивную схему при разном размещении аутригеров в здании, аналогично тому, как это сделано в работе [8] для оболочково-рамной (читать далее оболочковой) конструктивной схемы. Узлы присоединения ригелей каркаса к колоннам выполнены шарнирно. Узлы соединения ригелей с ядром жесткости также шарнирные. Таким образом, горизонтальные элементы каркаса освобождаются от возникающих в нем изгибающих моментов вокруг местных осей элементов Z, Y. Расчетная модель здания из программы SCAD v21.1 представлена на рисунке 1, схема расположения несущих конструкций высотного здания показана на рисунке 2.

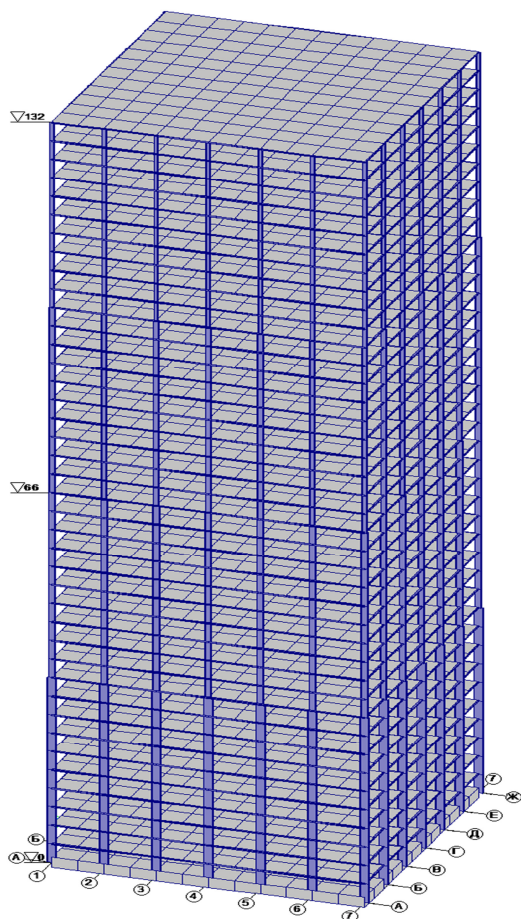


Рис. 1. Расчетная схема ствольно-каркасной конструкции

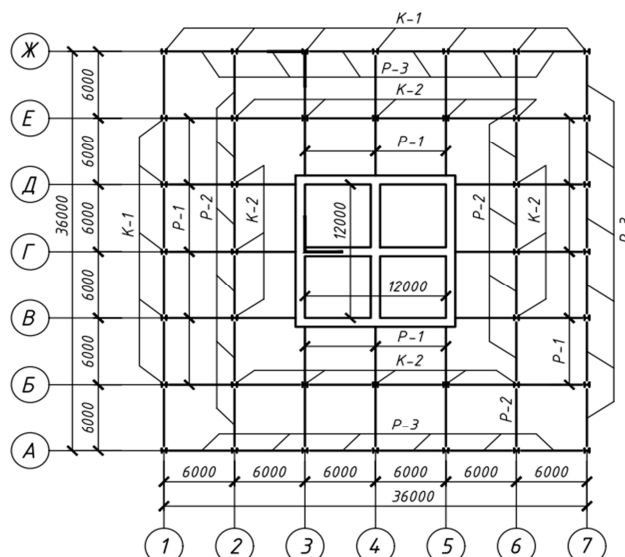


Рис. 2. Схема расположения несущих конструкций высотного здания ствольно-каркасной конструктивной схемы: К-1, К-2 – колонны каркаса; Р-1, Р-2, Р-3 – ригели каркаса

По расчетным сочетаниям усилий производился подбор сечений стальных элементов, разбитых на группы унификации. Элементы принимались двутаврового сечения по ГОСТ Р 57837-2017 «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок» [2]. Сечения с низким коэффициентом использования (такие как ригели каркаса) принимались конструктивно. В результате подбора были получены сечения по группам унификации, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Ведомость стальных элементов ствольной схемы со связевым каркасом

№ п/п	Название	Марка стали	Подобранное сечение проката	Критический фактор	Коэффициент использования
1	Наружные колонны 1–10 этаж	C440	┒ 100Ш2	Устойчивость из плоскости действия момента M_u при внецентренном сжатии	0,95
2	Наружные колонны 11–20 этаж	C440	┒ 70Ш2	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	0,965
3	Наружные колонны 21–30 этаж	C440	┒ 60Ш1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	0,944
4	Наружные колонны 31–40 этаж	C440	┒ 45Ш1	Устойчивость плоской формы изгиба	0,975
5	Колонны 1–10 этаж	C440	┒ 100Ш3	Устойчивость при сжатии в плоскости	0,899
6	Колонны 11–20 этаж	C440	┒ 50Ш4	Устойчивость при сжатии в плоскости	0,999
7	Колонны 21–30 этаж	C390	┒ 40Ш2	Устойчивость при сжатии в плоскости	0,994
8	Колонны 31–40 этаж	C390	┒ 35Ш1	Устойчивость при сжатии в плоскости	0,832
9	Ригели каркаса 1–20 этаж	C255	┒ 20Ш1	Прочность при действии изгибающего момента	0,151
10	Ригели каркаса 21–40 этаж	C255	┒ 20Ш1	Прочность при действии изгибающего момента	0,181
11	Ригели типовых этажей	C255	┒ 20Ш1	Прочность при действии изгибающего момента	0,569
12	Ригели технических этажей	C255	┒ 20Ш1	Прочность при действии изгибающего момента	0,579

Согласно СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные» [7] производились: расчет суммарного горизонтального перемещения верха здания, расчет форм колебаний, расчет на устойчивость формы и положения, расчет прогибов плит перекрытия типового и технического этажей, расчет максимального ускорения перекрытий верхних этажей. По результатам расчетов были получены следующие параметры: суммарное горизонтальное перемещение верха здания, прогиб элементов перекрытия типового и технического этажа, коэффициенты запаса устойчивости формы и положения, ускорение колебаний перекрытия верхнего этажа здания.

В работе приводится сравнение одинаковых по принципу работы конструктивных схем с разным положением аутригеров по высоте. Критериями сравнения являются значения оцениваемых параметров и расход материалов.

Для схемы 40-этажного здания были рассмотрены варианты с расположением этажей жесткости на (в скобках указан код схемы):

- 20 и 40 этажах – (40-12);
- 20 этаже – (40-1);
- 40 этаже – (40-2).

Здесь 40 – количество этажей в здании, цифра 1 указывает расположение аутригеров на 1/2 высоты здания, цифра 2 – наверху здания.

Для схемы 50-этажного здания были рассмотрены варианты с расположением этажей жесткости на (в скобках указан код схемы):

- 17, 34 и 50 этажах – (50-123);
- 17 и 34 этажах – (50-12);
- 50 этаже – (50-3).

Здесь 50 – количество этажей в здании, цифра 1 указывает расположение аутригеров на 1/3 высоты здания, цифра 2 – на 2/3 высоты здания, цифра 3 – наверху здания.

Для схемы 60-этажного здания были рассмотрены варианты (рис. 3) с расположением этажей жесткости на (в скобках указан код схемы):

- 20, 40 и 60 этажах – (60-123);
- 20 и 40 этажах – (60-12);
- 60 этаже – (60-3).

Здесь 60 – количество этажей в здании, цифра 1 указывает расположение аутригеров на 1/3 высоты здания, цифра 2 – на 2/3 высоты здания, цифра 3 – наверху здания.

Результаты параметров для каждой схемы приведены в таблицах 2 и 3, для удобства сравнения туда также внесены параметры схем без аутригеров.

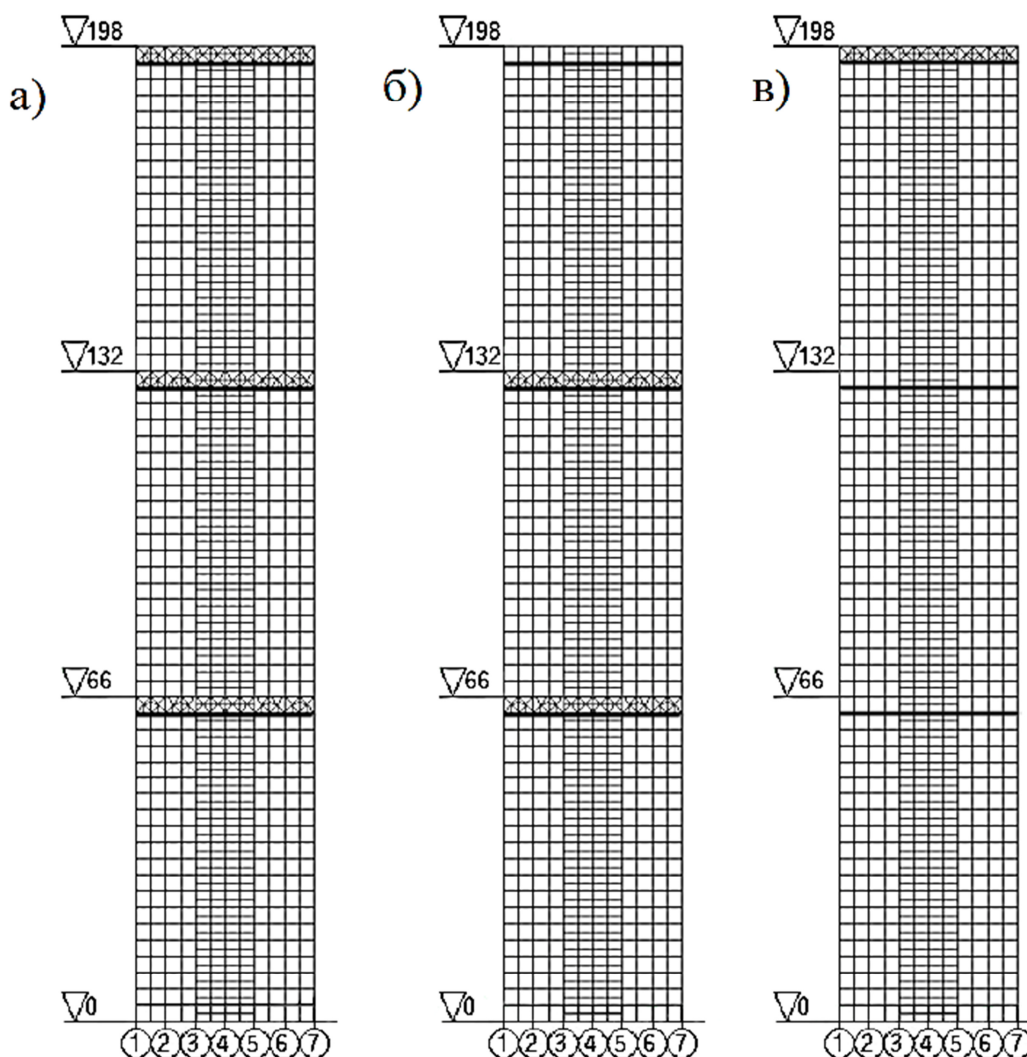


Рис. 3. Расположение аутригеров в 60-этажном высотном здании со ствольной конструктивной схемой: а) 60-123; б) 60-12; в) 60-3; толстой линией показано перекрытие технического этажа

Параметры ствольных схем высотных зданий

Ствольная схема							
Код схемы	Кол-во этажей	Расположение аутригеров на этажах	Значение	Параметры			Ускорение колебаний верхнего этажа, м/с ²
				Горизонтальное перемещение, мм	Прогиб перекрытия, мм		
					Технический этаж	Типовой этаж	
40	40	-	Расчетное значение	102,0	10,4	8,7	0,054
40-12		20, 40		93,0	9,1	8,0	0,05
40-1		20		90,3	10,3	7,0	0,053
40-2		40		97,5	9,0	8,0	0,055
				Предельное значение	h/500=264	l/200=30	l/200=30
50	50	-	Расчетное значение	193,4	16,5	12,5	0,065
50-123		17, 34, 50		159,5	16,9	8,4	0,06
50-12		17, 34		153,5	16,4	5,9	0,061
50-3		50		177,1	16,6	9,6	0,062
				Предельное значение	h/500=330	l/200=30	l/200=30
60	60	-	Расчетное значение	358,4	18,6	17,4	0,069
60-123		20, 40, 60		294,9	10,0	8,6	0,078
60-12		20, 40		291,2	10,9	9,8	0,07
60-3		60		333,7	14,7	13,3	0,071
				Предельное значение	h/500=396	l/200=30	l/200=30

Таблица 3

Сводная ведомость расхода материалов для ствольных схем

Ствольная схема												
Код схемы	40	40-12	40-1	40-2	50	50-123	50-12	50-3	60	60-123	60-12	60-3
Количество этажей	40				50				60			
Расположение аутригеров на этажах	-	20, 40	20	40	-	17, 34, 50	17, 34	50	-	20, 40, 60	20, 40	60
Расход стали на 1 м ² полезной площади здания, кг/м ²	94,1	94	106	99,8	127,3	109,5	127,6	139	100,6	114,9	132	153,4
в т.ч. двутавров, кг/м ²	42,3	33,4	38,2	34,7	50,3	40,4	47,7	42,7	51,7	41,7	44,3	45,8
в т.ч. арматуры, кг/м ²	51,8	60,6	67,8	65	76,9	69,1	79,9	96,3	49	73,3	87,7	107,7
Расход бетона на 1 м ² полезной площади здания, м ³ /м ²	607,4	620	613,7	613,7	613,3	628,5	623,4	618,3	649,3	661,9	657,7	653,5
в т.ч. на ядро и аутригеры	390,8	403,4	397,1	397,1	394,9	410,2	405,1	400	434,2	446,8	442,6	438,4
в т.ч. на перекрытия	216,6	216,6	216,6	216,6	218,3	218,3	218,3	218,3	215,1	215,1	215,1	215,1

Сравнение конструктивных схем 40-, 50- и 60-этажных высотных зданий со ствольной конструктивной схемой при разном расположении аутригеров по горизонтальным перемещениям и приведенным показателям расхода стали и бетона приведено на рисунках 4–6.

Почти во всех 40-, 50- и 60-этажных высотных зданиях со ствольной конструктивной схемой введение аутригерных конструкций благотворно влияет на контролируемые параметры. Введение этажа жесткости в середине 40-этажного высотного здания со ствольной конструктивной схемой дало уменьшение горизонтальных перемещений на 11 %. В 50-этажных зданиях аутригеры на 17 и 34 этаже обеспечили уменьшение горизонтальных перемещений на 21 %, что больше, чем в высотном здании той же высоты с

оболочковой конструктивной схемой (для оболочковой уменьшение на 15 %) [8]. Установка аутригеров в 60-этажном здании на уровне 1/3 и 2/3 от общей высоты (20 и 40 этажи) уменьшила горизонтальные перемещения на 19 %, что также больше, чем для такого же здания с оболочковой конструктивной схемой (для оболочковой уменьшение на 12 %) [8].

Разница в увеличении расхода бетона на 1 м² полезной площади между всеми схемами ствольных высотных зданий с аутригерами составляет 1–2 %, что близко к данному показателю для оболочковой конструктивной схемы. От введения в схему аутригеров объем бетона увеличивается только на количество, необходимое для обетонирования ферм на технических этажах.

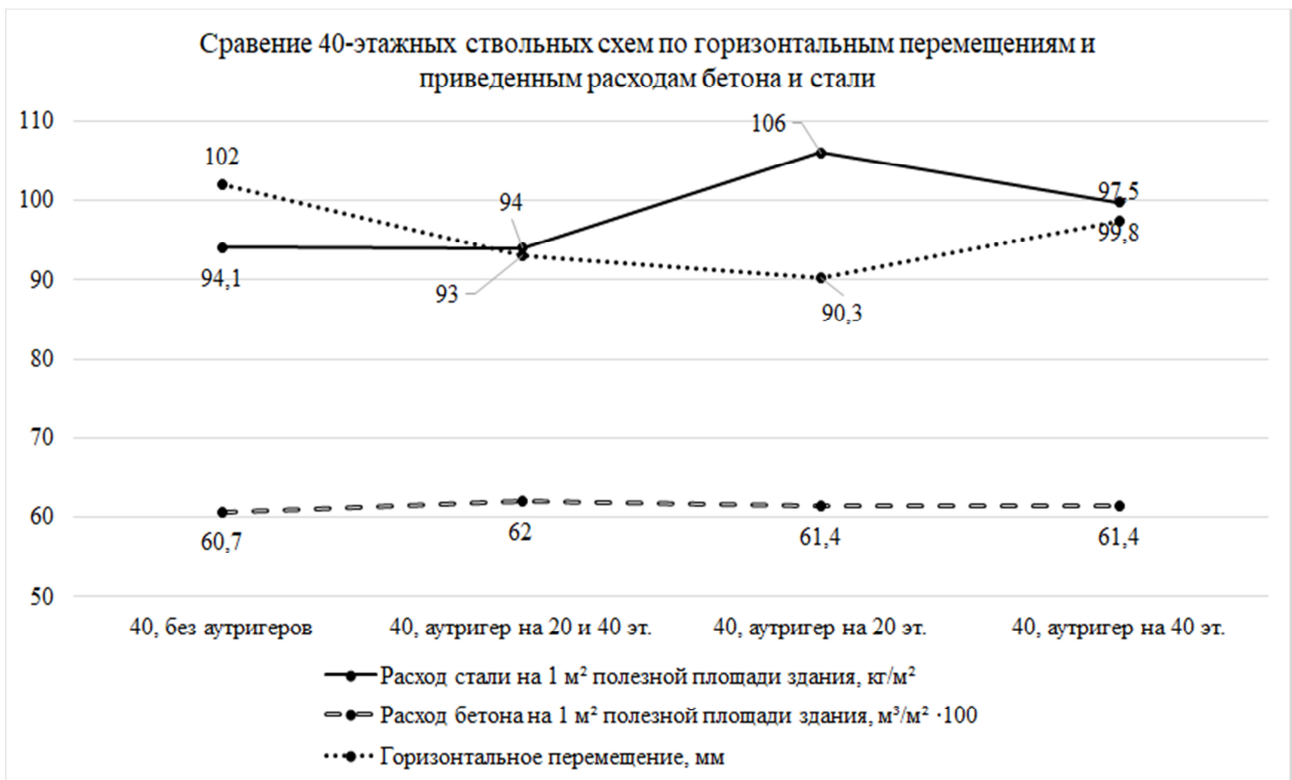


Рис. 4. Диаграмма сравнения приведенных показателей для 40-этажных высотных зданий со ствольной конструктивной схемой

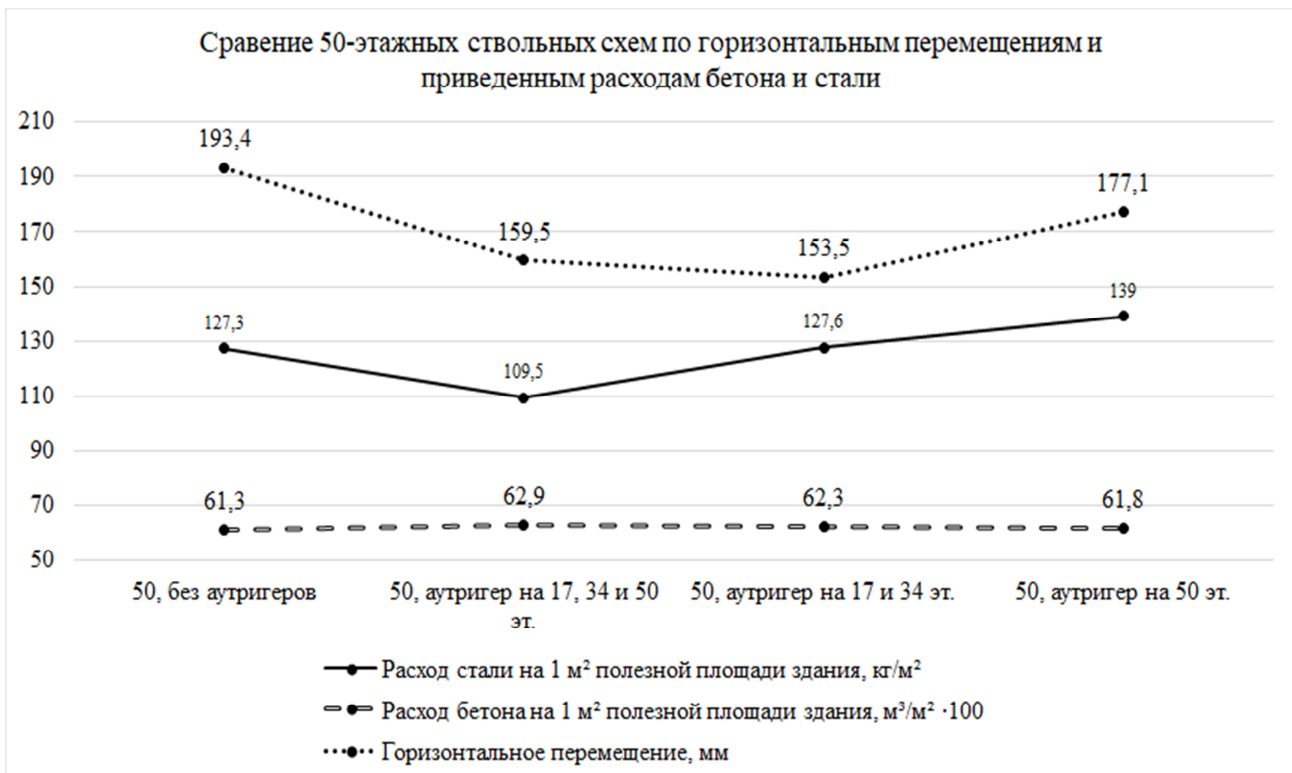


Рис. 5. Диаграмма сравнения приведенных показателей для 50-этажных высотных зданий со ствольной конструктивной схемой

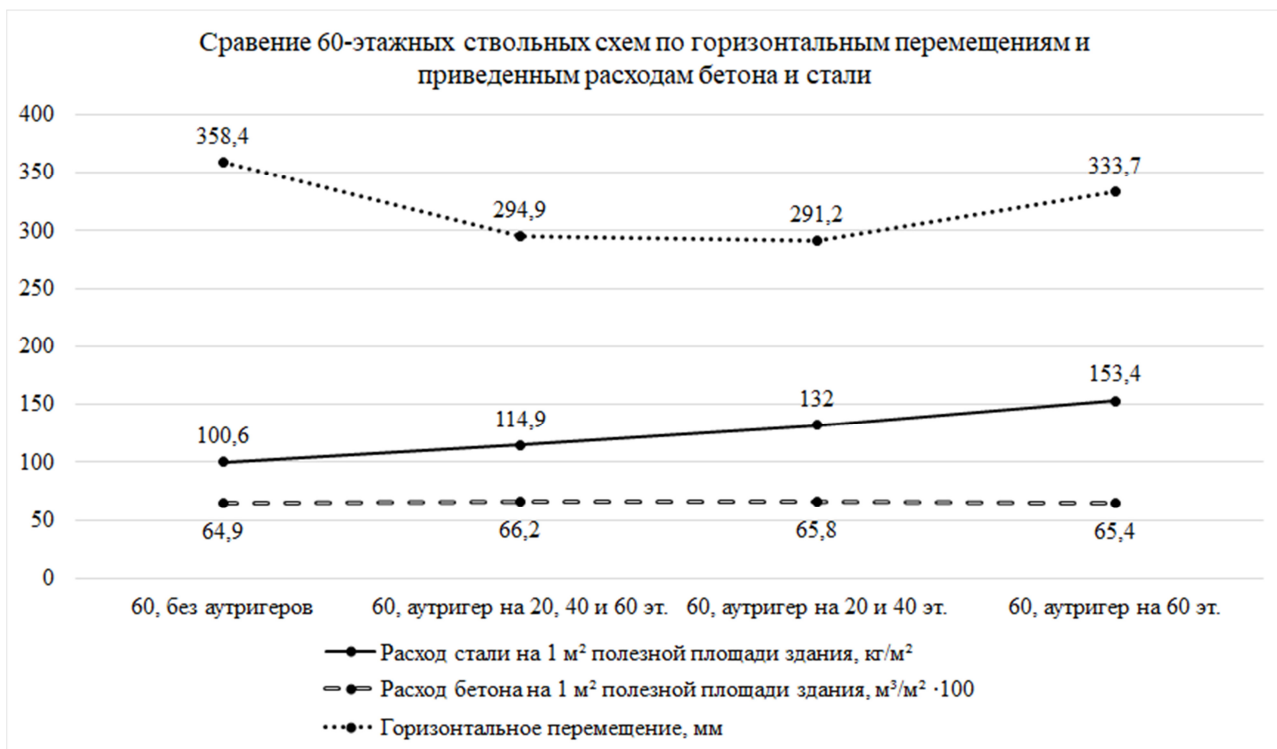


Рис. 6. Диаграмма сравнения приведенных показателей для 60-этажных высотных зданий со ствольной конструктивной схемой

Расход стали на 1 м² зависит от эффективности примененного конструктивного решения. В схемах высотой 50 этажей введение аутригеров на каждом техническом этаже (17, 34 и 50) позволило уменьшить расход стали на 14 % для ствольной конструктивной схемы, что немного больше, чем при том же размещении аутригеров в зданиях такой же этажности с оболочковой конструктивной схемой (для оболочковой на 12 % [8]). При расположении аутригерных конструкций на 20 и 40 этаже в ствольно-каркасной схеме высотой 40 этажей и на 17 и 34 уровне 50-этажных схем общий расход стали на 1 м² остался прежним (разница <0,3 %) за счет уменьшения массы арматуры. В остальных вариантах по сравнению со схемами без аутригеров масса стали увеличилась. Самый неэффективный вариант – расположение аутригера в 60-этажном здании на 1/3 и 2/3 высоты – потребовалось значительное армирование перекрытий из-за возникновения в них дополнительных усилий. Такая ситуация иногда может возникнуть, поэтому необходимо при установке аутригеров в схему обязательно учитывать работу перекрытия [9].

Для уникальных объектов механизм ценообразования строительства имеет специфические особенности. Каждое такое здание строится по индивидуальному проекту и в разных условиях. Поэтому цена на строительную продукцию определяется персонально на каждый объект на основе сметной документации. Цена зависит от выбранной технологии производства работ, единичных расценок на отдельные виды работ и их объемов, района строительства, необходимости корректировки (индексации) цен по времени.

Принципы ценообразования в строительстве определяются условиями рыночных отношений [10]. Состав, содержание и порядок разработки сметной документации прописаны в приказе Минстроя РФ от

04.08.20 № 421/пр об утверждении методики определения сметной стоимости строительства [11].

Сметная стоимость строительства определялась базисно-индексным методом в двух уровнях цен: базисном и текущем. Для определения стоимости в базисном уровне цен были использованы единичные расценки. Для материальных ресурсов, у которых отсутствует информация о сметных ценах в базисном уровне, сметная цена формировалась на основании расчета и конъюнктурного анализа текущих цен от трех производителей. Сметная стоимость в текущем уровне цен рассчитывается как произведение сметной стоимости в базисном уровне цен на индекс изменения сметной стоимости.

В рамках исследования выполнен локальный сметный расчет на возведение несущих конструкций для каждого варианта конструктивных схем здания для каждой исследуемой высоты.

Для вычислений использовались федеральные сборники единичных расценок (ФЕР). Расчет производился в ценах на 01.01.2000, которые были переведены в цены на I квартал 2021 года согласно приложению 1 к письму Минстроя России от 24.02.2021 № 6799-ИФ/09 [12]. Определение сметной стоимости нормы накладных расходов принято в процентах от фонда оплаты труда по видам работ в соответствии с МДС 81-33.2004 [13]. Определение текущей стоимости нормы сметной прибыли приняты по видам работ от фонда оплаты труда в соответствии с МДС 81-25.2001 [14].

Сравнение стоимости возведения несущих конструкций надземной части высотных зданий, имеющих ствольную конструктивную схему, приведены в таблице 4 и на рисунке 7. Для сравнительного анализа в таблице 4 и на рисунке 7 приведена стоимость возведения несущих конструкций надземной части зданий оболочковой конструктивной схемы из [8].

Сравнение стоимости возведения несущих конструкций высотных зданий со ствольной и оболочковой конструктивной схемами

Код схемы	Кол-во этажей	Расположение аутригеров на этажах	Стоимость возведения несущих конструкций надземной части здания, тыс. руб.	
			Ствольная схема	Оболочковая схема
40	40	-	1 297 669	1 299 661
40-12		20, 40	1 280 062	1 339 044
40-1		20	1 342 929	1 420 013
40-2		40	1 295 096	1 353 344
50	50	-	1 848 460	1 831 488
50-123		17, 34, 50	1 714 832	1 733 664
50-12		17, 34	1 830 622	1 822 152
50-3		50	1 736 900	1 757 912
60	60	-	2 153 115	2 179 169
60-123		20, 40, 60	2 163 065	2 183 095
60-12		20, 40	2 269 109	2 601 870
60-3		60	2 412 490	2 466 333

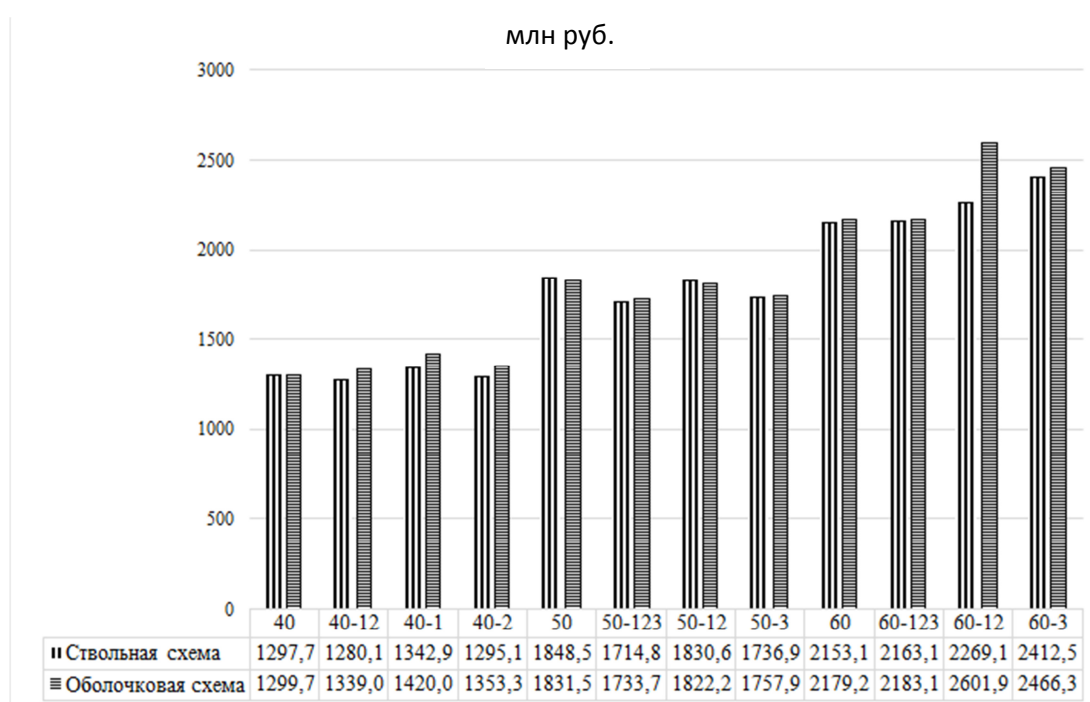


Рис. 7. Стоимость возведения несущих конструкций надземной части здания

Сравнение приведенной стоимости возведения несущих конструкций высотных зданий со ствольной и оболочковой конструктивной схемами

Код схемы	Кол-во этажей	Расположение аутригеров на этажах	Цена за 1 м ² полезной площади, тыс. руб	
			Ствольная схема	Оболочковая схема
40	40	-	29,64	29,69
40-12		20, 40	29,24	30,59
40-1		20	30,68	32,44
40-2		40	29,58	30,92
50	50	-	34,14	33,83
50-123		17, 34, 50	31,67	32,02
50-12		17, 34	33,81	33,65
50-3		50	32,08	32,47
60	60	-	32,79	33,19
60-123		20, 40, 60	32,94	33,25
60-12		20, 40	34,56	39,62
60-3		60	36,74	37,56

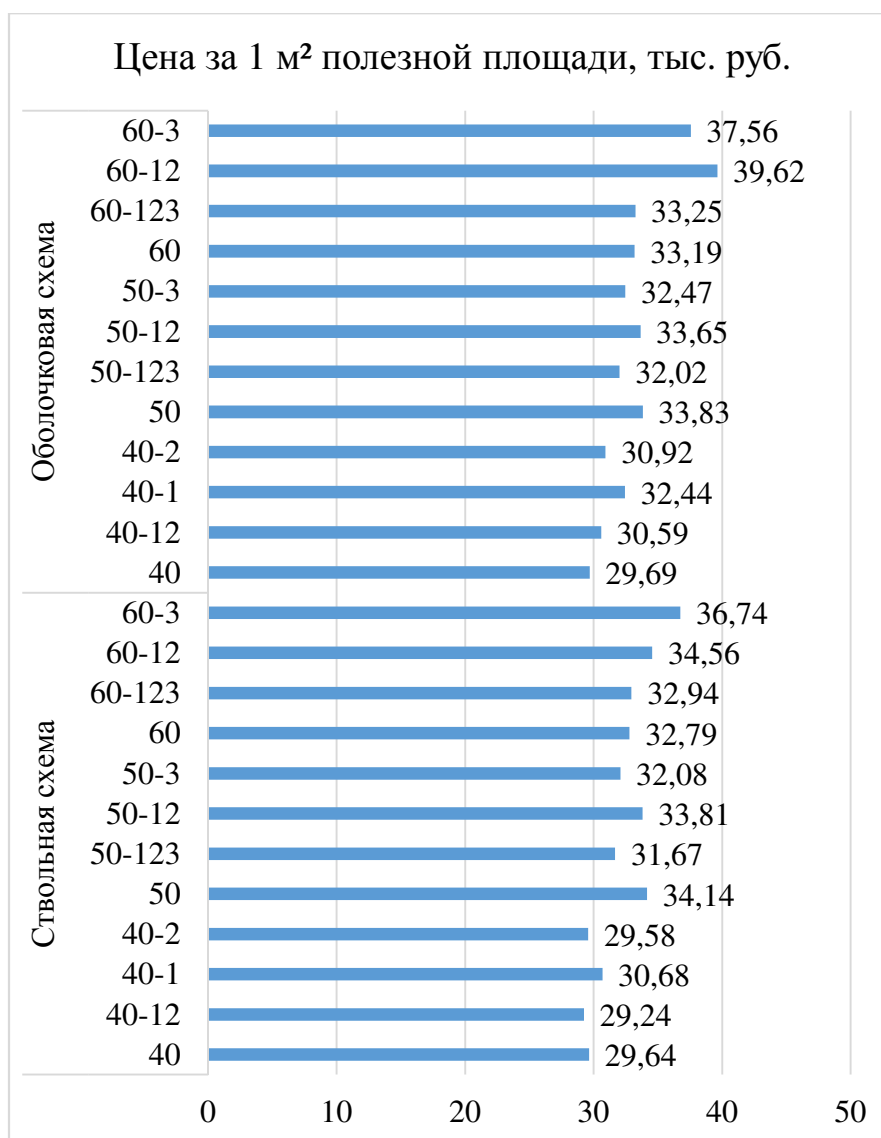


Рис. 8. Сравнение приведенной стоимости несущих конструкций

Высотные здания с оболочковой конструктивной схемой по многим статьям расходов (в основном, требуется меньше арматуры) экономичнее ствольной. Однако площадь защищаемых поверхностей в оболочковой схеме больше из-за большего количества элементов и необходимости их антикоррозионной обработки и огнезащиты, что приводит к удорожанию.

В таблице 5 и на рисунке 8 представлено сравнение приведенной стоимости (в расчете на 1 м² полезной площади) строительства несущих конструкций надземной части высотных зданий разных конструктивных схем.

Из анализа таблицы 5 и рисунка 8 следует, что для 40-этажных высотных зданий со ствольной или оболочковой конструктивной схемой введение аутригеров не дает значительного экономического эффекта по сравнению с системами без аутригерных этажей. Для 60-этажных высотных зданий для обоих конструктивных схем (ствольной или оболочковой) введение аутригеров приводит к незначительному удорожанию.

Стоимость 1 м² для 50-этажного здания со ствольной конструктивной схемой уменьшается при уста-

новке аутригерных конструкций по любому из предложенных вариантов, самый выгодный – установка аутригеров на каждом из технических этажей, что дает экономию 7,8 %. Аналогично получается для оболочковой конструктивной схемы, однако с меньшим экономическим эффектом (экономию 5,7 %).

Литература

1. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* : введен 04.06.2017. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 74 с.
2. ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия (с поправкой) : введен 2018-05-01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 50 с.
3. Шуллер, В. Конструкции высотных зданий / В. Шуллер. – Москва : Стройиздат, 1979. – 248 с.
4. Энгель, Х. Несущие системы / Х. Энгель. – Москва : Астрель, 2007 – 344 с.
5. Баранов, А. О. Конструктивные решения высотных зданий / А. О. Баранов // Alfabuild. – 2018. – Т. 5, № 3. – С. 33–51.

6. Козлов, М. В. Конструктивные схемы высотных зданий / М. В. Козлов, Е. Л. Безбородов // Вестник МГСУ. – 2011. – № 1. – С. 153–160.
7. СП 267.1325800.2016. Свод правил. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. – Введ. 30.12.2016. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 154 с.
8. Казакова, И. С. Использование аутригеров в оболочково-рамной конструктивной схеме высотных зданий / И. С. Казакова, А. Э. Иньков // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2022. – № 3. – С. 55–62.
9. Проектирование аутригерных систем / Hi Sun Choi, Goman Ho, Leonard Joseph, Neville Mathias // Высотные здания. – 2013. – № 5. – С. 98–101.
10. Ардинов, В. Д. Сметное дело в строительстве: Самоучитель / В. Д. Ардинов, Н. И. Барановская, А. И. Курочкин. – Санкт-Петербург : Питер, 2017. – 464 с.
11. Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации: приказ Минстроя РФ от 04.08.20 № 421/пр // Российская газета. – 2020. – 25 сентября.
12. О рекомендуемой величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости строительства в I квартале 2020 года, в том числе величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ, величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости пусконаладочных работ, величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости проектных и изыскательских работ, прогнозных индексов изменения сметной стоимости прочих работ и затрат, а также величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости оборудования : Письмо Минстроя России от 24 февраля 2021 г. № 6799-ИФ/09. – URL: rccs.ru/dokumenty/73-pisma/804-pismo-6799-if-09-ot-24-fevralya-2021-goda (дата обращения: 01.12.2022). – Текст : электронный.
13. МДС 81-33.2004 : методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве. – URL: www.minstroyrf.gov.ru/docs/10466/ (дата обращения: 01.12.2022). – Текст : электронный.
14. МДС 81-25.2001 : методические указания по определению величины сметной прибыли в строительстве. – URL: minstroyrf.gov.ru/docs/10468/ (дата обращения: 01.12.2022). – Текст : электронный.

I.S. Kazakova, A.E. Inkov
Vologda State University

EFFECTIVENESS OF USING OUTRIGGERS IN TRUNK DESIGN SCHEME OF HIGH-RISE BUILDINGS

The article provides recommendations for choosing the optimal trunk structural scheme of a high-rise buildings depending on the required height of the building and the location of outriggers. The study uses modern CAD tools for designing circuits, calculating forces, displacements and selecting cross sections of elements. The work is based on the modern domestic regulatory framework.

High-rise buildings, trunk structural scheme, outriggers, efficiency.



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЯХ С РЕГУЛЯТОРАМИ РАСХОДА И НАПОРА

Предложена методика расчета потокораспределения на водопроводных сетях с регуляторами постоянного давления и расхода. Проверена работоспособность метода Ньютона при решении системы нелинейных уравнений нестандартной структуры для моделирования сети с регуляторами. Приведен пример расчета по предложенной методике.

Методика, потокораспределение, гидравлический расчет, водопроводная сеть, регулятор.

Инженерные водопроводные сети населенных мест и промышленных объектов предназначены для транспортирования питьевой или технической воды от ее источников до водопотребителей. Водопроводные сети объединяют другие части системы водоснабжения (станции водоподготовки, насосные станции, водозаборы, скважины, водонапорные башни и т.д.) в единый комплекс.

Составными элементами водопроводных сетей являются подземные напорные трубопроводы, колодцы – узлы их соединения, а также запорно-регулирующая арматура (задвижки, вентили, гидранты, обратные клапаны и др.). Для проектирования городских водопроводных сетей, а также при их дальнейшей эксплуатации важнейшей задачей является расчетное моделирование их работы при различных режимах суточного водопотребления. Проведение инженерных расчетов в ходе разработки проектно-сметной документации необходимо для выбора оптимальных параметров труб, оборудования и сооружений. Инженерные гидравлические расчеты включают прежде всего моделирование гидродинамики течения воды в трубопроводных системах, которое в данном случае называется *задачей потокораспределения*. В ходе решения такой задачи производятся гидравлические расчеты таких параметров, как расходы, давления, скорости течения на ветвях трубопроводов, при некоторых заданных условиях и ограничениях.

Типичным условием при решении задачи потокораспределения является обеспечение у потребителя заданного расхода и давления (напора) воды. Помимо этого, существуют ограничения на ряд технических параметров, например определенный сортамент диаметров труб, минимальные и максимальные давления, диапазоны скорости течения в трубах и т.д.

Методика проведения гидравлических расчетов предполагает составление упрощенной расчетной схемы (модели) водопроводной сети и проведение на ней численного эксперимента. Расчетная модель представляет собой сочетание элементов, моделиру-

ющих реальные объекты водопровода: узловых колодцев, трубопроводных участков, насосных станций, источников воды, резервуаров, регуляторов, потребителей и др. На основе модели формируется система нелинейных алгебраических уравнений, связывающих по двум законам Кирхгофа давления в узлах, скорости течения и потери напора в трубопроводах [1].

На практике часто возникает необходимость фиксирования или ограничения значений отдельных параметров (например, расходов на участках, давлений в узлах и у потребителей, или же перепадов давления). Это делается при помощи установки автоматически действующих устройств, т.н. *регуляторов*. Введение регуляторов значительно усложняет как саму модель водопроводной сети, так и итерационное решение системы моделирующих уравнений.

Целью настоящей работы является усовершенствование компьютерного решения задачи потокораспределения в сетях с регуляторами двух типов – расхода (РР) и давления (РД), апробация этого способа и проверка работоспособности метода Ньютона при решении системы уравнений нестандартной структуры.

Модели и системы уравнений. Принятая модель водопроводных сетей состоит из элементов трех основных типов:

- *пассивные* – участки трубопровода, местные сопротивления;
- *активные* – насосные агрегаты и станции;
- *регулирующие* – запорно-регулирующая арматура, регуляторы.

Для каждого типа элемента существует своя математическая модель, выражающая связь потерь напора (или давления) и расхода жидкости. Топология графа сети выражается матрицей инцидентности A , которая имеет размер $(m - 1) \times n$, в которой m – число узлов, n – число участков (ветвей), соединяющих узлы. Каждый элемент матрицы принимает значение 0, 1 или -1.

Традиционная модель установившегося потокораспределения, характерного для водопроводных сетей, включает известные законы Кирхгофа и

замыкающие соотношения [2]. В матрично-векторном виде уравнения записываются как система:

$$\begin{aligned} Ax &= Q; \\ A^T P &= y; \\ y &= f(x), \end{aligned} \quad (1)$$

где A – матрица инцидентности узлов и участков расчетной схемы с элементами $a_{ji} = 1(-1)$, если узел j является начальным (конечным) для участка i , и $a_{ji} = 0$, если ветвь i не инцидентна узлу j ; x, y – n -мерные векторы расходов и перепадов напора (давления) на участках расчетной схемы; $f(x)$ – n -мерная вектор-функция с элементами $f_i(x_i)$, $i = \overline{1, n}$, отражающими законы падения давления от расхода на участках; Q – $(m-1)$ -мерный вектор узловых расходов с элементами $Q_j > 0$ для притока в узел j , $Q_j < 0$ для отбора в узле j и $Q_j = 0$, если узел j – простая точка соединения участков; P – $(m-1)$ -мерный вектор узловых давлений.

Первые два уравнения представляют реализацию законов Кирхгофа, третье – замыкания. Задача состоит в определении векторов x, y, P при заданных матрице инцидентности A , векторе Q , известном виде $f_i(x_i)$, для $i = \overline{1, n}$ и заданном давлении в одном из узлов (P_m).

Пассивные элементы моделируются общим уравнением:

$$f_i(x_i) = s_i(x_i)x_i|x_i|, \quad (2)$$

где s_i – гидравлическое сопротивление участка (функция от расхода x_i).

Активные элементы в общем случае задаются алгебраическими полиномами вида:

$$f_i(x_i) = \sum_{q=0}^{K_i} a_{q,i} |x_i|^{b_{q,i}-1} x_i, \quad (3)$$

где $a_{q,i}$ и $b_{q,i}$ – коэффициенты полинома; K_i – степень полинома.

Известны многочисленные методы и алгоритмы решения данной задачи, однако, как показано в монографии [3], базовыми являются два метода: *контурных расходов* и *узловых давлений*. Оба основаны на методе Ньютона, но с предварительным понижением порядка линеаризованных систем уравнений (1).

Регуляторы представляют собой местные гидравлические сопротивления на участках, величины которых изначально неизвестны и определяются в ходе решения системы уравнений (1). При этом должно быть обеспечено соблюдение условий заданного расхода воды на участке или пьезометрического давления в узле, который располагается до или после регулятора. Такие элементы принято моделировать через потери энергии (напора) формулой Вейсбаха:

$$h_m = \zeta_m \frac{v^2}{2g}, \quad (4)$$

где v – средняя скорость потока в его сечении за (после) регулятором; ζ_m – коэффициент местного сопротивления.

Фактически роль регуляторов сводится к тому, чтобы изменять гидравлические сопротивления участков s в зависимости от расхода x и перепада да-

вления y , добавляя дополнительное неизвестное значение h_m , которое и требуется рассчитать.

Общий подход расчета таких сетей, описанный в [3], заключается в последовательной корректировке всех переменных параметров с помощью двойных циклов итераций: *внешнего* и *внутреннего*.

Внешний цикл заключается в определении очередного приближения для вектора узловых давлений P и подсчете новых значений всех переменных параметров (s, h_m, Q), включая выполнение заданных условий и определение режима работы регулирующих устройств. На внутреннем цикле производится определение расходов x и потерь напора y на участках всей схемы, при условии соблюдения законов Кирхгофа – т.н. *увязка сети*.

Недостатком такого подхода является чрезмерно большое число циклов итераций для обеспечения требуемой погрешности при увязке участковых расходов. В работе [3] предложен способ, который позволяет отказаться от внешнего цикла, однако он рассмотрен для вентиляционных систем и не учитывает специфику водопроводных сетей. В данной работе предлагается усовершенствованная методика, которая апробирована и реализована в виде онлайн-приложения.

Методы и материалы. Разработка, отладка и исследование работоспособности методики проводились с использованием скриптового языка Perl на веб-сервере.

Методика расчета потокораспределения. Определяющими условиями, которые были положены в основу предлагаемой методики, является обеспечение:

- заданного расхода на участке, на котором расположен РР;
- заданного давления (напора) в узле начала или конца участка, на котором расположен РД;
- необходимого минимального свободного напора (пьезометрического давления) у потребителей.

Базовая методика решения задачи потокораспределения включает следующие этапы:

1. В узле начала каждого участка с РР назначается дополнительный отбор, равный заданному регулятором расходу, в узле конца этого участка отбор, наоборот, уменьшается на такую же величину.

2. Расходы на участках с РР зафиксированы и не являются переменными величинами, поэтому из графа водопроводной сети эти участки необходимо временно исключить. В дальнейших расчетах этот прием существенно упрощает систему уравнений (1) и уменьшает ее размерность.

3. Анализом графа водопроводной сети определяются замкнутые контуры, а также участки, в них не входящие. Составляется матрица инцидентности сети.

4. Выполняется начальное потокораспределение (определение участковых расходов в первом приближении) с помощью решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), составленной из уравнений баланса расходов в узлах и баланса линеаризованных потерь напора в контурах. Потери напора в этом случае определяются по формуле:

$$y_i(x_i) = s_i(x_i)x_i. \quad (5)$$

5. Согласно уравнениям (2) и (3) на каждом

участке определяются потери напора, которые складываются из потерь по длине и на местных сопротивлениях. Если в сети имеются замкнутые контуры, составляется система уравнений, состоящая из $m-1$ линейных уравнений баланса расходов в узлах и k нелинейных уравнений баланса потерь напора в контурах. Данная система решается итерационным методом Ньютона, согласно которому вычисляются поправки к участковым расходам до тех пор, пока не будет обеспечено условие сходимости по допустимой погрешности потерь напора.

6. Определяются свободные напоры (давления) в каждом узле и на источниках, исходя из условия обеспечения необходимого напора у каждого потребителя.

7. Определяется удельное гидравлическое сопротивление, скорость течения и потери напора по длине в трубопроводах участков с РР, которые были исключены ранее из матрицы инцидентности. Расчет потерь напора ΔP^{PP} на РР производится по формуле:

$$\Delta P^{PP} = (P_{нач} + Z_{нач}) - (P_{кон} + Z_{кон}) - (\Delta h_l + \Delta h_m), \quad (6)$$

где $P_{нач}$ и $P_{кон}$ – свободный напор в узлах начала и конца участка; $Z_{нач}$ и $Z_{кон}$ – геодезические отметки поверхности земли в этих узлах; Δh_l и Δh_m – потери напора по длине и местных сопротивлениях участка.

8. Для дальнейших расчетов РД находится узел с минимальным свободным напором – *диктующая точка*. Затем обходом графа сети определяются цепочки участков (обязательно вне РД) от диктующей точки до узлов с фиксированным напором. Такие цепочки будем называть *пути*, количеством p .

Для расчетов РД составляется модифицированная матрица инцидентности, в которой:

- ячейки в первых $m-1$ строках кодируют баланс расходов узлах;
- следующие $k-p$ строк соответствуют уравнениям баланса потерь напора в контурах;
- последние p строк ячеек кодируют модифицированные уравнения баланса потерь напора по пути от диктующей точки до узла начала (или конца) участка с РД;
- ячейки матрицы в этом случае заполняются таким же методом, как для контуров, отрицательные значения принимаются, если направление потока на

участке противоположно направлению от диктующей точки до узла с фиксированным напором.

На базе этой матрицы составляется и решается новая система нелинейных уравнений инцидентности, в правой части которой для последних p уравнений записывается разность между свободным напором в диктующей точке и напором, заданным РД. Таким образом, находятся участковые расходы и потери напора.

9. Для расчета потерь напора на РД составляется и решается СЛАУ баланса суммы потерь напора на участках пути по общей формуле:

$$\Sigma \Delta P^{PD} = (P_{рез} + Z_{рез}) - (P_{дукт} + Z_{дукт}) - \Sigma \Delta h^{рез-д}, \quad (7)$$

где $\Sigma \Delta P^{PD}$ – сумма потерь напора на участках пути от узла с фиксированным напором до диктующей точки, который проходит через РД; $\Sigma \Delta h^{рез-д}$ – сумма потерь напора на участках этого же пути, но проходящего вне РД; $P_{рез}$ и $P_{дукт}$ – свободные напоры в узле с фиксированным напором и диктующей точке; $Z_{рез}$ и $Z_{дукт}$ – соответствующие геодезические отметки этих узлов.

Пример потокораспределения. Рассмотрим схему водопроводной сети, которая представлена на рисунке 1. На схеме 5 узлов, 6 участков, 2 контура, один потребитель **ВП** с фиксированным отбором и источник – насосная станция **НС**. Отбор в узле 3 составляет 100 л/с, необходимый свободный напор – 10 м. Все участки имеют длину 100 м, трубы – полимерные, номинальным диаметром 110 мм. Регулятор **РР** фиксирует на участке (2–5) расход 15 л/с, регулятор **РД** поддерживает напор в узле 1, равный 50 м. Геодезические отметки всех узлов одинаковы. Требуется определить распределение расходов по участкам, потери напора на каждом регуляторе и напоры в каждом узле. Допустимая погрешность суммы потерь напора в контурах – 0,1 м.

Участок с РР (2–5) временно исключается из расчетной схемы, поэтому в узле 2 назначается временный отбор 15 л/с, в узле 5 добавляем источник с таким же расходом – на рисунке 2. На участках назначаются первоначальные направления движения воды: (1 → 2), (4 → 3), (1 → 4), (1 → 3), (5 → 3). После исключения участка с РР в схеме остается замкнутый контур 1: (1 – 4 – 3 – 1).

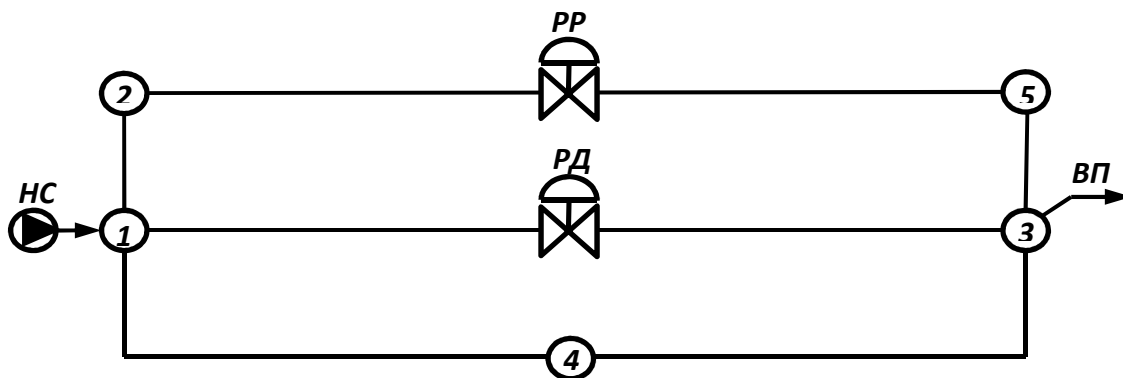


Рис. 1. Схема водопроводной сети:
НС – насосная станция, ВП – водопотребитель, 1...5 – узлы соединения участков

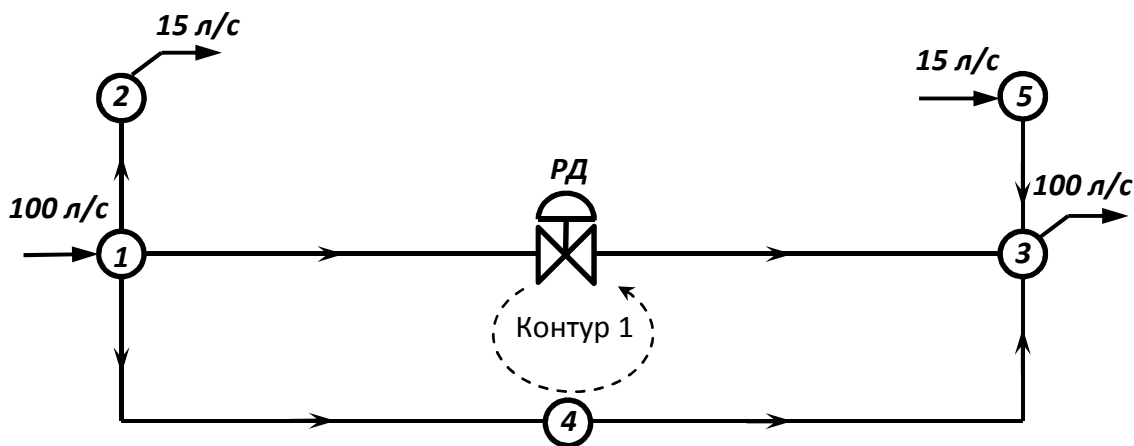


Рис. 2. Модификация расчетной схемы

Таблица 1

Матрица инцидентности А

№ элемента		Участки				
		(1 → 2)	(4 → 3)	(1 → 4)	(1 → 3)	(5 → 3)
Узлы	1	-1	0	-1	-1	0
	2	1	0	0	0	0
	3	0	1	0	1	1
	4	0	-1	1	0	0
Контур	№ 1	0	258,92	258,92	-258,92	0

Таблица 2

Участковые расходы, потери напора и скорости на участках

Участок	Расход, л/с			Итог расчета		
	Начальное потоко-распределение	Первая итерация	При допустимой невязке	Расход, л/с	Потери напора, м	Скорость, м/с
1	2	3	4	5	6	7
1 → 2	15	15	15	15	4,241	2,04
4 → 3	28,33	33,76	34,29	35,97	20,01	4,89
1 → 4	28,33	33,76	34,29	35,97	20,01	4,89
1 → 3	56,67	51,24	50,71	49,03	34,67	6,66
5 → 3	15	15	15	15	4,241	2,04
2 → 5	-	-	-	15	4,241	2,04

Составляется квадратная матрица соединений участков сети и узлов (инцидентности) **А** (табл. 1). Ячейки матрицы для контура 1 заполняются коэффициентами гидравлического сопротивления s_i (зависит от материала, диаметра, длины трубопровода и скорости течения [4]), рассчитанных при первоначальном значении скорости, равном 0,5 м/с. Если направление течения воды на участке не совпадает с направлением условного обхода контура на рисунке 2, коэффициент s_i принимается со знаком «минус».

Составленная по матрице **А** СЛАУ баланса расходов в узлах и линеаризованных потерь напора в контурах представлена ниже:

$$\begin{aligned}
 -q_{1 \rightarrow 2} - q_{1 \rightarrow 4} - q_{1 \rightarrow 3} &= -0,1 \\
 q_{1 \rightarrow 2} &= 0,015 \\
 q_{4 \rightarrow 3} + q_{1 \rightarrow 3} + q_{5 \rightarrow 3} &= 0,1 \\
 -q_{4 \rightarrow 3} + q_{1 \rightarrow 4} &= 0 \\
 258,92 \cdot q_{4 \rightarrow 3} + 258,92 \cdot q_{1 \rightarrow 4} - 258,92 \cdot q_{1 \rightarrow 3} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

После ее решения находятся участковые расходы q_i , которые приведены в таблице 2, столбец 2.

При найденных расходах снова определяются коэффициенты s_i , которые подставляются в последнюю строку системы (8) нелинейных уравнений (1) и (2) на базе матрицы **А**:

$$\begin{aligned}
 -q_{1 \rightarrow 2} - q_{1 \rightarrow 4} - q_{1 \rightarrow 3} &= -0,1 \\
 q_{1 \rightarrow 2} &= 0,015 \\
 q_{4 \rightarrow 3} + q_{1 \rightarrow 3} + q_{5 \rightarrow 3} &= 0,1 \\
 -q_{4 \rightarrow 3} + q_{1 \rightarrow 4} &= 0 \\
 16320 \cdot q_{4 \rightarrow 3}^2 + 16320 \cdot q_{1 \rightarrow 4}^2 - 13960 \cdot q_{1 \rightarrow 3}^2 &= 0
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Данная система решается итерационным методом Ньютона [1], согласно которому вычисляются поправки к участковым расходам Δq_i до тех пор, пока сумма потерь напора в контуре станет меньше допустимого значения. Полученные в результате после первой итерации и окончательные значения расходов приведены в столбцах 3, 4 таблицы 2.

По найденным потерям напора и необходимому напору рассчитываются свободные напоры в узлах (табл. 3).

Таблица 3

Свободные напоры в узлах сети

Узел		1	2	3	4	5
Напор, м	Без учета РД	46,8	42,56	10	28,41	14,24
	С учетом РД	50	45,76	10	29,99	14,24

Затем определяется гидравлическое сопротивление, скорость течения (2,04 м/с) и потери напора по длине в трубопроводе (4,24 м) на участке (2 → 5) с РР, который был ранее исключен из расчетной схемы. По формуле (6) определяются потери напора на РР:

$$\Delta P^{PP} = 42,56 - 14,24 - 4,24 = 24,08 \text{ м.}$$

Затем находится диктующая точка (с минимальным напором) – в узле 3. Путь от диктующей точки до узла 1 с фиксированным напором: 3-4-1. Для расчетов РД по вышеизложенным правилам составляется модифицированная матрица инцидентности **AA**, которая отличается от матрицы **A** последней строкой с путем вместо контура (табл. 4).

Таблица 4

Строка для кодирования путей в матрице AA

№ элемента	Участки				
	(1 → 2)	(4 → 3)	(1 → 4)	(1 → 3)	(5 → 3)
Путь	0	-25892	-25892	0	0

На базе матрицы **AA** из уравнений баланса расходов в узлах и потерь напора в пути составляется система нелинейных уравнений:

$$\begin{aligned} -q_{1 \rightarrow 2} - q_{1 \rightarrow 4} - q_{1 \rightarrow 3} &= -0,1 \\ q_{1 \rightarrow 2} &= 0,015 \\ q_{4 \rightarrow 3} + q_{1 \rightarrow 3} + q_{5 \rightarrow 3} &= 0,1 \\ -q_{4 \rightarrow 3} + q_{1 \rightarrow 4} &= 0 \\ -25892 \cdot q_{4 \rightarrow 3}^2 - 25892 \cdot q_{1 \rightarrow 4}^2 &= -40 \end{aligned} \quad (10)$$

Участковые расходы после решения данной системы уравнений методом Ньютона приведены в столбце 5 таблицы 2. Рассчитываются потери напора на всех участках сети с новыми участковыми расходами (столбец 6 таблицы 2), и по формуле (7) определяются потери напора на РД:

$$\Delta P^{PD} = 50 - 10 - 34,67 = 5,33 \text{ м.}$$

Наконец, пересчитываются свободные напоры в узлах (табл. 3). На рисунке 3 показаны рассчитанные параметры элементов сети.

Изложенная методика была реализована на языке Perl как часть онлайн-приложения для моделирования водопроводных сетей [5].

Общее количество итераций по методу Ньютона, затраченное на расчет до допустимой погрешности, приведено в таблице 5.

Как следует из результатов таблицы 5, количество итераций находится в логарифмической зависимости от допустимой невязки.

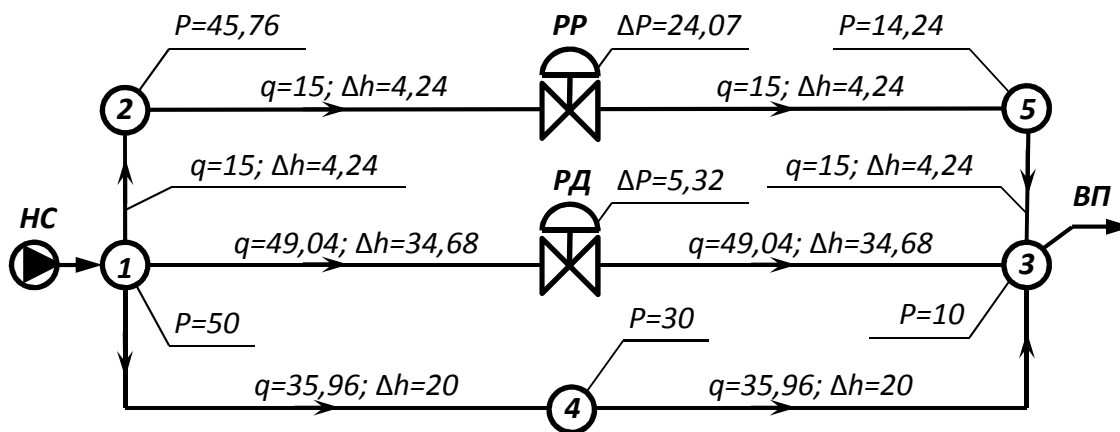


Рис. 3. Схема с рассчитанными параметрами:
 ΔP – потери напора на регуляторе, м; Δh – участковые потери напора, м;
 q – участковые расходы, л/с, P – узловые напоры, м

Таблица 5

Количество итераций для расчета

Допустимая погрешность суммы контурных потерь напора, м	5	1	0,5	0,1	0,01	0,001	0,0001
Количество итераций	7	9	9	11	13	15	17

В данной работе получены следующие результаты:

- обоснована и разработана методика потокораспределения на водопроводных сетях с регуляторами постоянного давления и расхода;
- разработан компьютерный алгоритм и выполнена онлайн-программа, реализующая предложенную методику;
- проверена работоспособность и сходимость метода Ньютона при решении системы нелинейных уравнений для моделирования работы водопроводной сети с регуляторами.

Литература

1. Журба, М. Г. Водоснабжение: проектирование систем и сооружений : учебное пособие для вузов по специальности «Водоснабжение и водоотведение». В 3 томах. Том 3. Системы распределения и подачи воды / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова ;

научно-методический руководитель и общий редактор М. Г. Журба. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : АСВ, 2010. – 407 с.

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. Меренков, А. П. Теория гидравлических цепей / А. П. Меренков, В. Я. Хасилев ; ответственный редактор М. Г. Сухарев. – Москва : Наука, 1985. – 278 с.

4. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : справочное пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – 11-е изд., доп. – Москва : БАСТЕТ, 2016. – 426 с.

5. Гидравлический расчет водопроводной сети PLUMBING.WEB 3.35. – URL: web-medium.ru/special/plumbing.web (дата обращения: 14.10.2022). – Текст : электронный.

A.G. Gudkov
Vologda State University

IMPROVEMENT OF FLOW DISTRIBUTION METHODOLOGY OF WATER PIPELINE SCHEMES WITH FLOW AND PRESSURE REGULATORS

A method for calculating flow distribution on water pipeline schemes with constant pressure and flow regulators is proposed. The efficiency of Newton's method in solving a system of nonlinear equations of a non-standard structure for modeling a network with regulators is tested. An example of a calculation according to the proposed methodology is given.

Methodology, flow distribution, hydraulic calculation, water supply network, regulator.



Л.И. Соколов, В.А. Силюнский
Вологодский государственный университет

СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИЗ СОЛЕНОЙ ПУТЕМ МНОГОСТАДИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

Представлены строительные системы и конструкционные материалы новой технологической схемы многостадийной обработки соленой природной воды при строительстве очистных сооружений водопровода. Проанализированы существующие строительные конструкции и аппараты для осуществления методов подготовки воды, их преимущества и недостатки. Предложенная схема включает возможность монтажа сооружений для обработки вод с повышенным содержанием минерализации и морской воды, для получения питьевой, пресной, обессоленной воды. Показана возможность дезинфекции ионообменных материалов гипохлоритом натрия, полученным электролизом из части исходной морской воды.

Схема очистки вод, очистные сооружения, минеральная вода, морская вода, электролиз, дезинфекция.

Технологии обработки высокоминерализованных вод, содержащих антропогенные примеси, отличаются сложностью, многостадийностью и дороговизной. Так, технология подготовки высокоминерализованной воды может включать биосорбцию с аэрацией, трехслойное осветлительно-сорбционное фильтрование, электродиализ, обратный осмос и сорбцию [1]. Недостатками такой технологии являются сложность аппаратного оформления и высокие энергетические затраты. В любом случае при подготовке питьевой воды из поверхностных источников требуется ее обеззараживание, в частности гипохлоритом натрия, который может быть получен электролитически. Иногда гипохлорит натрия получают путем электролиза искусственно приготовленных растворов хлорида натрия. Однако использование искусственно приготовленных растворов хлорида натрия обуславливает либо сложный контроль за процессом электролиза и дозировкой подачи гипохлорита натрия в обрабатываемую воду в случае применения технического хлорида натрия с непостоянным составом, либо использование специально приготовленного достаточно дорогого хлорида натрия, что значительно увеличивает стоимость технологии обработки воды. При обработке питьевой воды раствор гипохлорита натрия, пригодный для ее обеззараживания, должен отвечать повышенным требованиям по чистоте и содержанию примесей, что в случаях применения искусственно приготовленных растворов хлорида натрия достигается использованием очищенного хлорида натрия и специально подготовленной воды либо последующей очисткой гипохлорита натрия, что существенно увеличивает стоимость обработки питьевой воды.

Известен способ обработки воды гипохлоритом натрия, получаемым на месте его потребления с использованием в качестве исходного сырья для электролиза природных растворов хлорида натрия, например подземных минерализованных вод или морской воды. При этом электролиз осуществляют в

электролизере непроточного режима [2]. Корпуса электролизеров обычно изготавливают бетонными, стальными и из пластика. Однако морская вода не может быть использована без предварительной очистки для производства гипохлорита натрия, пригодного для обработки питьевой воды, в силу своей загрязненности, что обуславливает повышенные расходы на обработку воды. Использование же природных подземных растворов хлорида натрия, в частности подземной минерализованной воды, для получения гипохлорита натрия к настоящему времени не имеют практического применения из-за отсутствия экономичной технологической схемы [3].

Для производства гипохлорита натрия применяют бездиафрагменные электролизеры периодического или непрерывного действия, рассчитанные на электролиз концентрированных растворов, содержащих не менее 15 г/л хлорида натрия. Использование электролизеров периодического действия усложняет технологическую схему обработки воды вследствие дополнительного контроля параметров выходного продукта, поэтому более предпочтительно использовать электролизеры непрерывного действия. В диафрагменных электролизерах диафрагмы изготавливают из натуральных материалов тканей (бельтинг, войлок, шерсть) или используют искусственные (нейлон, капрон, стекловолокно, стеклоткань, резина микропористая).

Основой конструкции диафрагменного электролизера является стальной корпус-катод в виде прямоугольной обечайки без дна и крышки. По его периметру у стенок (внутри корпуса) расположено катодное пространство, отделенное от центральной части, где находится анодное пространство, стальной сетчатой перегородкой, служащей катодом. Большинство современных конструкций имеют гребенчатые, или иначе пальцевые катоды. У них к двум противоположным стенкам корпуса с внутренней стороны приваривают (у отечественных электролизеров) или прибалчивают (например, у электролизеров фирмы

«Хукер», США) металлические каркасы с большим вылетом от стенки. Всю систему каркасов обтягивают сеткой, в результате чего образуется гребенчатая сетчатая перегородка в виде ряда полых катодных пальцев. Пальцы отдалены один от другого так, чтобы поместить между ними аноды и оставить еще расстояние, нужное для циркуляции электролита и размещения диафрагмы. Полости внутри катодных пальцев соединены с полостью по внутреннему периметру корпуса и образуют общее катодное пространство. Для вывода катода и водорода из катодного пространства в стенки корпуса врезаны штуцера: нижний для катода, верхний для водорода. Верх электролизера перекрыт крышкой: в более старых конструкциях из бетона, в современных – из стеклопластика или же из гуммированной стали. На верхнем обресе корпуса укреплены детали для ее уплотнения. В крышке есть отверстия для отвода хлора, подачи рассола, установки приборов. Снизу корпус соединен через электроизоляционную прокладку с анодной частью электролизера – анодным комплектом. Аноды в анодном комплекте установлены рядами в полном соответствии с расположением катодных пальцев в корпусе и закреплены в нем. В ряде зарубежных электролизеров графитовые аноды устанавливаются в чаше (бетонной или чугунной) и концы анодов в ней заливаются свинцом. В свинец закладывается конец медной шины, у которой другой конец выведен наружу и служит для присоединения внешней ошиновки. В отечественных конструкциях электролизеров не применяется свинцовая заливка анодов. Они крепятся с помощью механических устройств в стальном анодном корыте. Место крепления анодов заливается особой битумной композицией и поверх ее слоем бетона.

В Вологодском государственном университете разработана технологическая схема обработки природной минерализованной воды, включающая начальное и заключительное обеззараживание воды, предварительное фильтрование, подкисление, обратный осмос (при необходимости в три ступени) и ионный обмен. При разработке технологии стояла задача повышения эффективности очистки воды, а именно получение обеззараживающего реагента (гипохлорита натрия) экономичным, безреагентным методом. Согласно разработанной технологии получения обессоленной, питьевой воды, бактериальную обеззараживающую обработку исходной воды и, при необходимости, дезинфекцию ионообменных материалов проводят гипохлоритом натрия, полученным электролизом из части исходной сырой воды, прошедшей предварительную фильтрацию с целью очистки от грубых механических примесей и взвеси. При этом часть минерализованной отфильтрованной воды первоначально по обводной линии закачивают в резервуар-усреднитель, из которого обеспечивают самотечную ее подачу в электролизер с заданным расходом и концентрацией. При этом электролиз осуществляют в проточном режиме.

Данная схема очистки природной и морской вод имеет возможность применения при строительстве очистных сооружений водопровода, где имеется артезианская скважина с минеральной водой, либо на побережье моря, где необходима чистая питьевая вода. Схема очистки может быть реализована для мобильных очистных сооружений водопровода контейнерно-модульной конструкции. Преимуществом контейнерных укомплектованных очистных сооружений является возможность их передвижения с места на место и транспортировки в труднодоступные места, вдали от места их сборки.

Технологическая схема очистки питьевой воды, включающая строительные системы и конструкции аппаратов, представлена на рисунке 1. Исходная природная минерализованная вода (1) насосом (2) подается на предварительное фильтрование на фильтр предварительной очистки (3). Затем исходную воду (1), содержащую минеральные соли, разделяют на два потока: основной и обводной. Основной поток подвергают подготовке по следующей схеме: обеззараживание через хлоратор (7) гипохлоритом натрия, полученным в электролизере (5) из обводного потока исходной воды, снижение рН через подкислитель (8), подача воды насосом высокого давления (9) на обратноосмотические установки при необходимости в одну, две или три ступени (10, 11, 13), ионитовое фильтрование (15). Отвод грязной воды осуществляется через дренаж (12). Обводной поток (часть исходной минерализованной воды) по обводной линии направляют в резервуар-усреднитель (4), из которого обеспечивают самотечную подачу воды в электролизер (5) с заданным расходом и концентрацией. Электролизер применяется для получения раствора гипохлорита натрия, дозируемого дважды в основной поток исходной обрабатываемой воды, а также для обеззараживания обводного потока, проходящего через электролизер. Электролиз разрушает растворенные в воде примеси, продукты распада которых задерживаются при дальнейшей очистке. Образующийся при электролизе гипохлорит натрия поступает в накопительную емкость (6), откуда дозируется для предварительного обеззараживания в основной поток исходной воды при помощи хлоратора (7) перед обратноосмотическими установками и для повторного хлорирования в резервуар сбора пресной воды (14). При необходимости образующийся при электролизе гипохлорит натрия может использоваться для дезинфекции ионообменной фильтрующей загрузки, подаваемый насосом-дозатором (21) в ионитовый фильтр (15) (рис. 2). Сбор воды после ионитового фильтра (15) осуществляется в резервуаре для глубоко обессоленной воды (16), откуда насосом (2) по трубопроводу (17) подается потребителю. Вода после промывки и дезинфекции загрузки ионитового фильтра отводится по трубопроводу (20). Все детали ионитового фильтра должны быть изготовлены из пластика, допущенного к контакту с пищевыми продуктами.

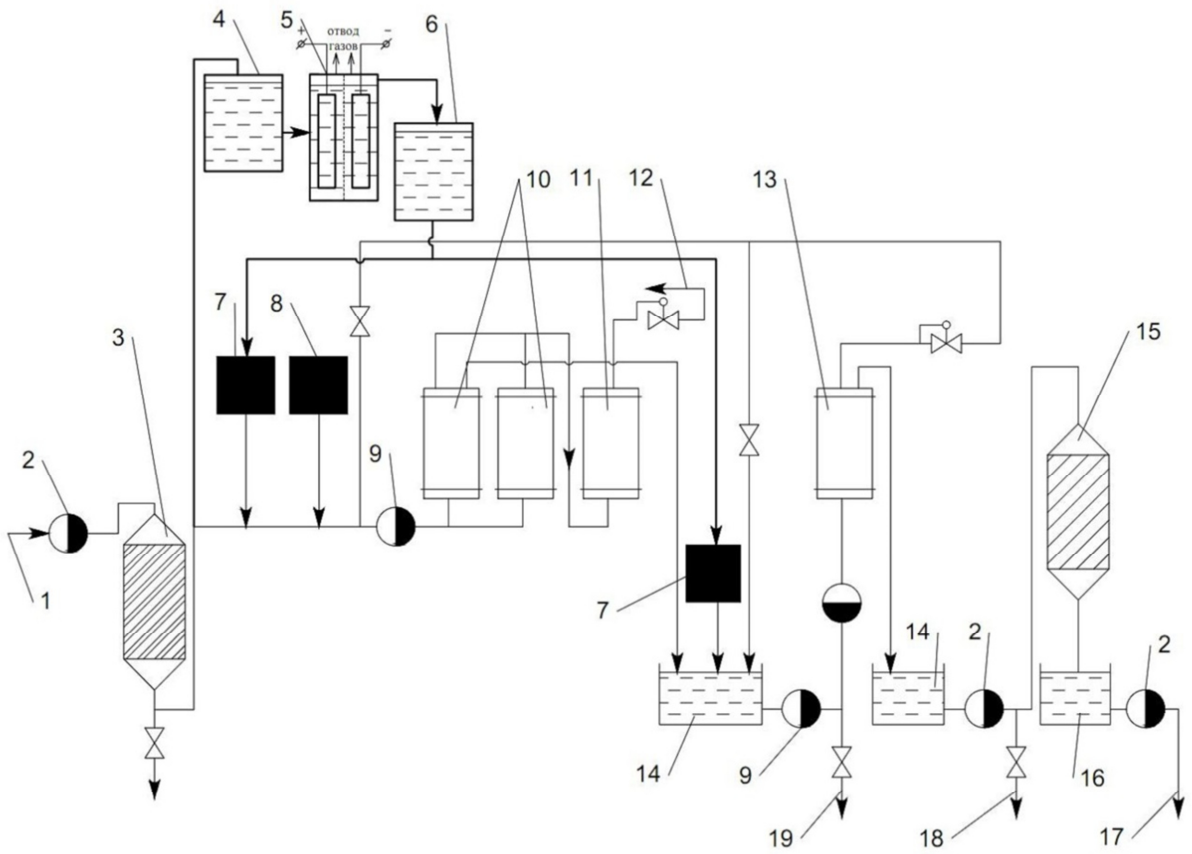


Рис. 1. Технологическая схема обработки природной высокоминерализованной воды

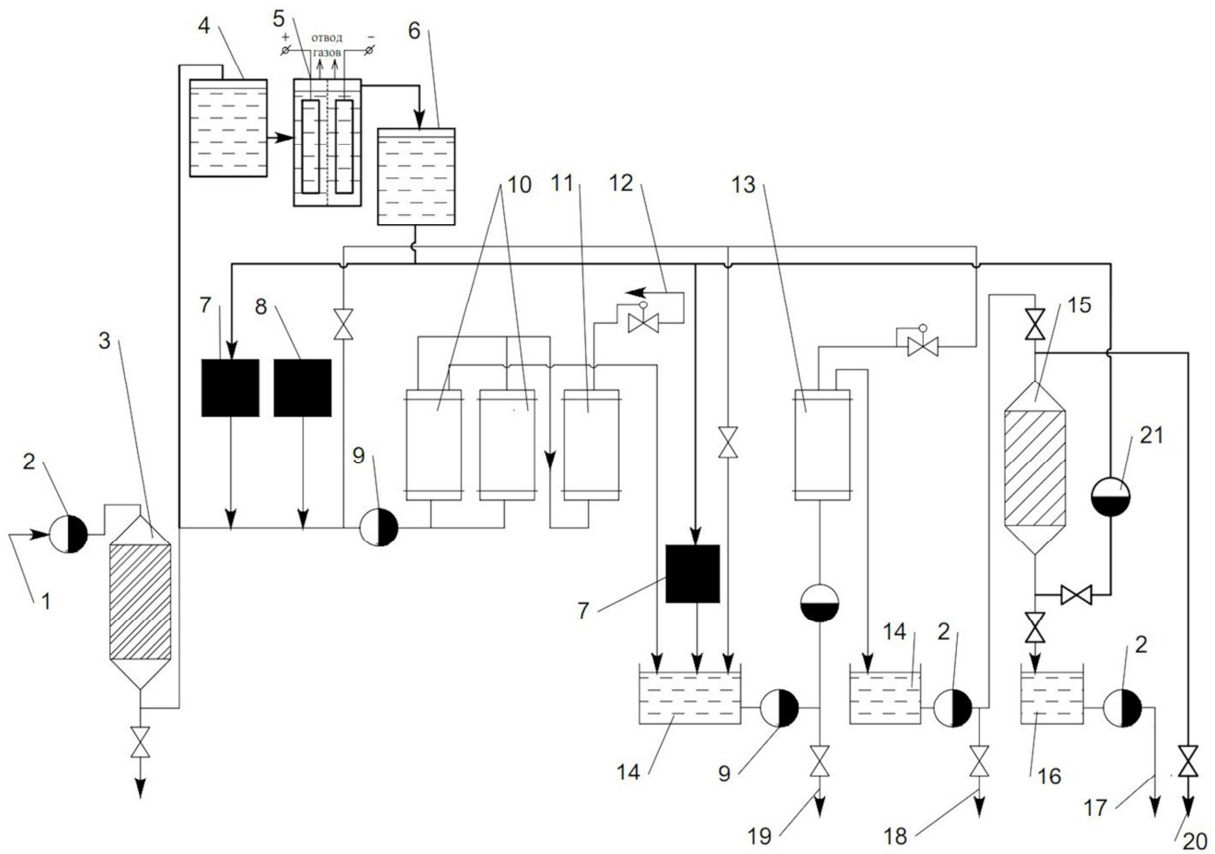


Рис. 2. Технологическая схема обработки природной высокоминерализованной воды, включающей дезинфекцию ионита

В данной работе предложены следующие материалы для изготовления электролизера: конструкционный (сталь) и футеровочный (пластик). Корпус электролизера изготавливают из нелегированной стали СТ. 3 (или Ст. 30). Должна быть проведена футеровка для защиты от коррозии корпуса. Для футеровки пластическая масса наносится на сталь. В качестве футеровочного материала авторы рекомендуют использовать винипласт, полипропилен, полиэтилен, фторопласт, свинец, пластикат из перхлорвинилового смолы, резину или эбонит. Электролизер для получения хлора и щелочи изнутри не футеруется, т.к. корпус поляризован катодно (катодная защита), но такой корпус требует наружной защиты и теплоизоляции. С этой целью корпус гуммируют или покрывают хлорвиниловыми смолами.

Для удаления газообразных продуктов в данной технологии следует применять вентиляционные отсосы, газосборные зонты и колокола. В каждом конкретном случае выбор типа отсоса определяется требованиями к санитарно-гигиеническим условиям проведения процесса очистки и конструкцией оборудования. В данной технологической схеме следует применять отсосы с вертикальной щелью всасывания, изготовленные из углеродистой или нержавеющей стали, винипласта, полипропилена.

Для регулирования скорости воздушного потока во всасывающей щели отсоса следует предусматривать шиберные устройства.

При монтаже очистных сооружений водопровода насос (2) может устанавливаться прямо в скважине с минеральной водой либо в водозаборе в море, если схема будет применяться для морской воды. Резервуар (14) может быть заглублен в землю и находится вне контейнерно-модульной конструкции для экономии места. Если установка очистных сооружений выполняется в регионах с преобладанием низких температур, то заглубление необходимо обеспечить ниже глубины промерзания.

При эксплуатации ионообменных установок возникают осложнения, обусловленные зарастанием внутренних пор ионообменного материала (особенно на анионитах) и возможным появлением колоний микроорганизмов, забивающих загрузку (особенно на карбоксилированных смолах). Поэтому необходимо использовать гипохлорит натрия для дезинфекции ионообменных материалов во время их регенерации. При этом дезинфекционные и обеззараживающие свойства зависят от концентрации гипохлорита натрия, используемой для такой обработки. Предварительное хлорирование гипохлоритом натрия перед очисткой целесообразно применять как средство улучшения качества воды в период фильтрования. Под воздействием гипохлорита окисляются различные вещества и микроорганизмы. Гипохлорит действует очень быстро и энергично в течение первой минуты после добавления и в воде на длительное время создается устойчивое остаточное содержание хлора.

Приготовленную таким образом воду направляют потребителю. Поскольку подземная вода одного месторождения имеет постоянные физико-химические характеристики: химический состав (в том числе концентрацию хлорида натрия), температуру, давление,

а также благодаря проточному режиму электролиза при самотечной подаче минерализованной воды на выходе электролизера будет образовываться раствор гипохлорита натрия заданной концентрации, пригодный для употребления без дополнительного контроля. При этом отпадает необходимость в специальном контрольном оборудовании, упрощается обслуживание станций водоподготовки, что удешевляет весь способ обработки воды гипохлоритом натрия.

В разработанной технологии получения как пресной, так и полностью обессоленной воды обеспечивается обеззараживание воды переменного состава с широким диапазоном содержания исходных хлоридов, включая воду морскую (перенасыщенные растворы со средним содержанием хлоридов 19–20 г/л), загрязненную антропогенными примесями.

По сравнению с известными способами и устройствами, предлагаемый способ следует признать новым, т.к. он позволяет при подготовке воды производить и использовать гипохлорит натрия непосредственно на месте добычи исходной минерализованной воды, без применения товарных реагентов, причем источником получаемого раствора гипохлорита натрия является собственно сама исходная вода. При этом отпадает необходимость в специальном контрольном оборудовании, упрощается обслуживание станций водоподготовки, что удешевляет весь способ обработки воды гипохлоритом натрия. Данный способ получения питьевой и обессоленной воды прост в аппаратном оформлении, позволяет повысить эффективность очистки высокоминерализованной воды, содержащей антропогенные примеси, и ее качественные показатели экономичным ресурсозаменяющим, безреагентным методом.

Таким образом, в данной работе представлено строительно-конструкционное и аппаратное оформление новых технологических схем обработки высокоминерализованной воды, а предложенный новый способ подготовки питьевой воды из соленой путем многостадийной обработки является ресурсосберегающим и обеспечивает показатели качества воды, предусмотренные санитарными правилами и нормами [4, 5]. Предложенные решения на основе конструкционных материалов могут быть применены как для строительства передвижных очистных сооружений водопровода, так и для стационарных.

Литература

1. Журба, М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Учебное пособие. В 3 томах. Том 2. Очистка и кондиционирование природных вод / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва : АСВ, 2010. – 397 с.
2. Медриш, Г. Л. Оборудование и приборы для обеззараживания воды. Водоснабжение и санитарная техника / Г. Л. Медриш. – Москва : Стройиздат, 1993. – № 2. – С. 7–8.
3. Пчельников, И. В. Совершенствование технологии производства обеззараживающего реагента – гипохлорита натрия электролизом морской воды : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пчельников Игорь Викторович. – Волгоград, 2015. – 24 с.

4. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий : Постановление Главного государственного

санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 3. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 01.12.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – Москва : Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2021. – 111 с.

L.I. Sokolov, V.A. Silinsky
Vologda State University

BUILDING SYSTEMS OF NEW TECHNOLOGY FOR OBTAINING DRINKING WATER FROM SALT WATER BY MULTI-STAGE TREATMENT

The building systems and structural materials of a new technological scheme for multi-stage processing of salty natural water during the construction of water treatment facilities are presented. The existing building structures and apparatus for the implementation of water treatment methods, their advantages and disadvantages have been analyzed. The proposed scheme includes the possibility of installing facilities for the treatment of waters with a high content of mineralization, and sea water, to obtain drinking fresh demineralized water. The possibility of disinfection of ion-exchange materials with sodium hypochlorite obtained by electrolysis from part of the original sea water is shown.

Water treatment scheme, treatment facilities, mineral water, sea water, electrolysis, disinfection.



О ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СХЕМЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье приводятся данные сравнительного анализа двух территориальных схем обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными, Вологодской области: действующей с 2016 года и новой, которая обсуждается специалистами и общественностью. Результаты, полученные в ходе анализа и исследования, могут быть использованы при внесении корректировок и планировании поправок в новую территориальную схему. Материалы статьи могут быть использованы сотрудниками организаций, занимающихся вопросами территориального развития сферы обращения с отходами, а также магистрантам и аспирантам, изучающими данный вопрос.

Территориальная схема, отходы производства и потребления, твердые коммунальные отходы, обращение с отходами, нормы накопления отходов, объекты образования отходов, морфологический состав отходов.

Одним из важных документов, влияющим на политику регионов Российской Федерации в области обращения с отходами производства и потребления, является документ «Территориальная схема (ТС) обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными (ТКО)» [1–3]. На основании данных ТС разрабатывается настоящая и перспективная стратегия промышленности в области захоронения, обезвреживания, утилизации отходов всех классов опасности. Рассчитываются объемы возможных инвестиций и экономический эффект от вторичного использования тех фракций отходов, которые возможно применить в народном хозяйстве.

Представленная для общественного обсуждения новая ТС Вологодской области [4] дает возможность оценить ее качество по сравнению с ТС, принятой в 2016 году. В то же время, используя численные характеристики объемов, норм, морфологии, можно провести анализ и выявить несоответствия, которые, несомненно, влияют на достоверность и актуальность ее содержания.

Как положительную тенденцию необходимо отметить:

- новая ТС (2021 г.) имеет в своем составе каталог отходов производства и потребления, соответствующий Федеральному классификатору (в ТС 2016 г. такой каталог отсутствовал);

- в новой ТС есть сведения о медицинских отходах (в ТС 2016 г. эти сведения не были представлены);

- есть данные о плотности ТКО по категориям объектов;

- в новой ТС более подробно приведены сведения о результатах инструментальных замеров морфологического состава ТКО, представленные данные характеризуют состав ТКО отдельно по крупным, малым городам и сельской местности (табл. 1). Следует отметить, что развернутые данные морфологического состава представляют экономическое значение, по ним можно:

- 1) рассчитать возможные объемы некоторых

фракций в качестве вторичного сырья, таблицы 9.1–9.4 ТС 2021 г. [4];

- 2) количество контейнеров для раздельного ТКО по категориям «сухой» и «мокрый» мусор, при дуальном способе сбора ТКО;

- 3) количественные показатели инвестиционных денежных вложений в отрасль качественной сортировки, мойки и рециклинга полимеров, бумаги, стекла и пр.

При анализе данных таблицы 1 следует отметить, что количество бумаги уменьшилось на 30 %, полимеров увеличилось на 36 %, смет в г. Вологде и г. Череповце уменьшился на 76 % (данная цифра вызывает сомнения, т.к. не вполне реальна, или ее учли в прочих ТКО, которые увеличились на 50 %). При анализе данных морфологического состава полимерные отходы показаны по трем категориям ПЭТ, 2Д, 3Д. Это не соответствует современным подходам к технологии переработки пластиков. Необходимо при сортировке расширять перечень фракций: полипропилен, полиэтилен, ПЭТ, тетрапак, ПВХ, полистирол, поликарбонат и т.д.

К сожалению, новый документ [4] можно подвергнуть критике:

- не содержит описание процесса обращения с отходами I–IV класса опасности, в т.ч. медицинскими отходами и отработанными шинами;

- не представлены варианты оформления контейнеров для раздельного (дуального) сбора ТКО с перечнем фракций и светоотражающих пометок для использования в темное время суток, т.к. далеко не все площадки Вологодской области освещаются;

- нет подробной разбивки ТКО по объектам общественного назначения;

- нет разбивки объекта домовладения по источникам: многоквартирные дома и индивидуальное жилье;

- не учтены (таблица 2.10 с. 65 [4]) объекты социальной защиты (в ТС 2016 были данные: 168 кг/чел при краткосрочном проживании и 276 кг/чел при долгосрочном проживании).

Таблица 1

Морфологический состав твердых коммунальных отходов Вологодской области, сравнительные данные территориальных схем 2016 и 2021 гг. (расчет по объему)

Состав	Доля в общем объеме ТКО, %		
	2016 г.	2021 г.	Изменение
Пищевые отходы	8	7,6	
Бумага (картон)	17	12	Уменьшение на 30 %
Полимерные материалы, в т.ч. ПЭТ, 2Д и 3Д	26	35,5	Увеличение на 36 %
Стекло	8	5,5	
Древесина	6	0,2	Уменьшение на 96 %
Текстиль	6	5	
Металл: черный металлолом (в том числе жестяные бутылки), цветной металлолом (в том числе алюминиевые бутылки)	4	2,9	
Смет с территории (земля, песок, камни, растительные отходы)	5	1,2	Уменьшение в г. Вологде и г. Череповце на 76 %
Опасные отходы (батарейки, аккумуляторы, тара от растворителей, красок, ртутные лампы и пр.)		0,06	
Прочее	20	29,4	Увеличение на 50 %

Таблица 2

Объекты накопления отходов производства и потребления Вологодской области

№	Объекты накопления прочих отходов	ТС 2016 год	ТС 2021 г. табл. 1.3, с. 31–32	Изменение
1	объекты сельского и лесного хозяйства, рыбоводства и рыболовства	361	150	- 211 Соответствие уменьшения объектов и отходов почти в два раза
2	объекты добычи полезных ископаемых	11	8	-3 Объекты уменьшились 1,3 раза, отходы увеличились в 1,6 раз
3	объекты обрабатывающих производств	1236	457	- 779 Уменьшение объектов в 2,7 раз, количество отходов почти не изменилось
4	объекты потребления, производственные и непроизводственные	1503	841	-762 При уменьшении количества объектов в 1,7 раз отходы увеличились в 3 раза
5	объекты обеспечения электроэнергией, газом и паром	282	234	-48 Увеличение отходов в 2,4 раза
6	объекты водоснабжения и водоотведения	136	403	+267 Увеличились в 3 раза. Количество отходов почти не изменилось
7	объекты строительства и ремонта	156	136	-20 Уменьшение объектов в 1,1 раз, уменьшение отходов в 3,2 раза
9	объекты прочей деятельности	515	316	-199 Уменьшение в 1,6 раз, увеличение отходов в 23 раза
	Итого	4059	2543	Уменьшение объектов в 1,6 раза, уменьшение отходов в 1,1 раз

**Количество различных видов отходов, образующихся на территории Вологодской области,
сравнительный анализ территориальных схем 2016 и 2021 гг.**

№ п/п	Наименование вида отхода	Класс опасности	Образовано, тонн		
			ТС 2016г.	ТС 2021 г., табл. 2.5, с. 60	изменение
1.	Твердые коммунальные отходы	IV–V	493 509	371 826,96	- 121 682,13 (уменьшились в 1,3 раза, на 30 %)
	в том числе крупногабаритные отходы	V	48 948	53 987,38	+ 5 039,38
2.	Отходы строительства и ремонта	III–V	1 847 958	576 903,98	- 1 271 054,02 (уменьшились в 3,2 раза)
3.	Отходы сельского, лесного хозяйства, рыбоводства и рыболовства	III–V	845 383	427 326,85	- 418 056,15 (уменьшилось в 2 раза)
4.	Отходы добычи полезных ископаемых	IV /IV–V	597 946	973 386,2	+375 440,2 (добавили в класс опасности, увеличение в 1,6 раз)
5.	Отходы обрабатывающей промышленности	II–V	11 674 383	11 649 025,69	-25 357,31
6.	Отходы потребления производственные и непроизводственные; материалы, изделия, утратившие потребительские свойства	I–V	295 930	921 296,16	+625 366,16 (увеличились в 3 раза)
7.	Отходы обеспечения электроэнергией, газом и паром	IV–V	13 679	33 112,1	+19 436,1 (увеличение в 2,4 раза)
8.	Отходы при водоснабжении, водоотведении, деятельности по сбору и обработке отходов	III–V	179 920	202 112,76	+22 192,76
9.	Прочие отходы производства и потребления	II–V	2 745	62 916,09	60 171,09 (увеличилось в 23 раза)
Итого:			15 951 453	15 217 906,79	-633 546,21

В таблицах 2 и 3 автором работы приводятся обобщенные данные: ТС 2016 и 2021 гг., об объектах накопления, количестве и видах отходов, образующихся в Вологодской области. Таблицы содержат сведения об изменении объемов отходов производства и потребления, эти данные в последнем столбце представлены в процентном отношении со значением увеличения или уменьшения. Обсуждение таблиц 2 и 3 дает возможность сделать вывод: нет соответствия между изменением количества объектов и изменением количества отходов.

Например:

- объекты добычи полезных ископаемых уменьшились с 11 до 8, т.е. в 1,3 раза, а количество тонн отходов увеличилось в 1,6 раз;

- объекты обрабатывающих производств уменьшились в 2,7 раз, но количество отходов при этом не изменилось;

- объекты потребления, производственные и не производственные уменьшились в 1,7 раз, отходы увеличились в 3 раза;

- объекты обеспечения электроэнергией, газом и паром почти не изменились, а отходы увеличились в 2,4 раза;

- объекты водоснабжения и водоотведения увеличились в 3 раза, а отходы остались в тех же объемах;

- объекты строительства и ремонта уменьшились с 156 до 136 объектов, при этом отходы уменьшились более чем в два раза;

- объекты накопления в категории «прочие отходы производства и потребления» уменьшились в 1,6 раз, отходов же стало больше в 23 раза.

При этом общее количество отходов данных объектов осталось почти прежним, уменьшилось лишь на 10 %. Данные о нормах накопления ТКО в ТС 2016 и 2021 гг. практически одинаковые.

Можно сделать вывод, что в Вологодской области необходимо провести инструментальные замеры ТКО на объектах общественного значения и принять во внимание все изменения по объемам отходов производства и потребления, в том числе ТКО для расчета технологических параметров объектов обращения с отходами и величиной инвестиций, соответствующих им.

Литература

1 Об отходах производства и потребления : Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ. – Текст : электронный // Гарант-сервис: справочно-правовая система / компания «Гарант-сервис».

2. О разработке, общественном обсуждении, утверждении, корректировке территориальных схем в области обращения с отходами производства и потребления, в том числе с твердыми коммунальными отходами, а также о требованиях к составу и содержанию таких схем» : Постановление Правительства РФ от 22 сентября 2018 г. № 1130. – Текст : электронный // КонсультантПлюс: справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс».

3. Официальный сайт Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. – URL: dpr.gov35.ru/vedomstvennayainformatsiya/novosti/241/119247/ (дата обращения: 01.12.2022). – Текст : электронный.

4. Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, на территории Вологодской области : Приказ Департамента топливно-энергетического комплекса и тарифного регулирования области от 29 декабря 2016 г. № 174. – Текст : электронный // Техэксперт – электронный фонд правовой и нормативно-технической документации портал. – URL: docs.cntd.ru (дата обращения: 01.12.2022).

E.V. Solovyeva

Vologda State University

ON TERRITORIAL SCHEME OF WASTE MANAGEMENT IN VOLOGDA REGION

The article presents data from a comparative analysis of two territorial waste management schemes, including solid municipal waste of Vologda region, which has been in force since 2016, and a new one, which is being discussed by specialists and the public. The results obtained during the analysis and research can be used when making adjustments and planning amendments to the new territorial scheme. The materials of the article can be used by employees of organizations dealing with the territorial development of waste management, as well as by undergraduates and postgraduates studying this issue.

Territorial scheme, production and consumption waste, solid municipal waste, waste management, waste accumulation rates, waste generation facilities, morphological composition of waste.

УДК 625.85:691.16



В.А. Шорин, А.Ю. Вельсовский, С.А. Мясникова
Вологодский государственный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕНЕТРАЦИИ (ВЯЗКОСТИ) НЕФТЯНЫХ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

В статье приведены результаты исследования пенетрации (вязкости) нефтяных дорожных битумов различных производителей. По результатам исследований были выявлены коррелятивные связи между пенетрацией и составом нефтяных дорожных битумов. По величине вязкости определены качественные показатели нефтяных дорожных битумов. Для ряда битумов марки БНД 70/100 выявлены отклонения от требований ГОСТ 33133-2014, что обосновывает их несоответствие заявляемым маркам битума.

Адгезионные связи, композиционный материал, битум, модифицированный битум, автомобильная дорога, поверхностная обработка покрытия, щебень из сталеплавильного шлака.

В настоящее время основным типом дорожных одежд являются асфальтобетонные покрытия. Их состояние оказывает существенное влияние на эффективность работы автомобильного транспорта. Дефекты дорожного покрытия приводят к повышению аварийности, увеличению расхода топлива и как следствие к росту стоимости перевозок автомобильным транспортом.

Долговечность асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги в значительной мере зависит от природно-климатических факторов и внешних воздействий. Вместе с тем немаловажную роль играют технология производства асфальтобетонной смеси, качество ее уплотнения и свойства применяемых материалов, в частности нефтяного дорожного битума.

Особую роль в этой связи представляют исследования реологических свойств дорожных битумов, а именно вязкости (пенетрации) битумов при температурах 0 °С и 25 °С.

Для оценки величины пенетрации нефтяных дорожных битумов, а также их качества были проведены испытания образцов битумов марки БНД 70/100 от различных производителей. Марки битумов и их производители приведены в таблице 1.

Таблица 1

Марки испытываемых битумов и их производители

Заявленная марка	Производитель
БНД 70/100	Ярославский НПЗ
БНД 70/100	Нижегородский НПЗ
БНД 70/100-9 % «Амдор»	Нижегородский НПЗ
БНД 70/100	«Лукойл-Нижегороднефтеоргсинтез»
БНД 70/100	Ярославский НПЗ «Славнефть»
БНД 70/100	Киришский НПЗ
БНД 70/100	Ярославский НПЗ (ООО «Дорсервис»)

Определение показателя пенетрации (глубины проникания иглы) нефтяных дорожных битумов при температурах 25 °С и 0 °С осуществлялось по ГОСТ 33136-2014 «Дороги автомобильные общего пользования, битумы нефтяные дорожные вязкие». Сущность метода заключается в измерении глубины, на которую погружается игла пенетromетра в испытуемый образец битума при заданных рабочих параметрах испытания. Результат метода выражается в единицах, соответствующих десятым долям миллиметра (0,1 мм) [1]. Для проведения испытания на пенетрацию образец битума необходимо нагреть до подвижного состояния. Для полного удаления влаги из образца следует разогреть битум до температуры, которая на 90 °С выше его температуры размягчения. Однако запрещается разогревать битум выше 160 °С.

Температура и условия испытания образцов на показатель глубины проникания иглы представлены в таблице 2.

Таблица 2

Температура и условия испытания битума на пенетрацию

Температура испытания	Общая масса стержня иглы и дополнительного груза, г	Время опускания иглы, с
0,0±0,1	200,00±0,20	60
25±0,1	100,00±0,15	5

Результаты исследований величины пенетрации нефтяных дорожных битумов от производителей при температуре 25 °С приведены в таблице 3.

Таблица 3

Показатели пенетрации нефтяных дорожных битумов при 25 °С

Заявленная марка БНД / Производитель	Показатель пенетрации, 0,1 мм	Среднее значение пенетрации, 0,1 мм	Значение доверительного интервала
БНД 70/100 / Ярославский НПЗ	68, 68, 63, 67, 67, 62, 65, 65, 70, 67	66	±0,77
БНД 70/100 / Нижегородский НПЗ	71, 65, 66, 65, 69, 66, 62, 69, 63, 67	66	±0,92
БНД 70/100- 9 % «Амдор» / Ниж. НПЗ	76, 79, 73, 77, 78, 81, 78, 76, 74, 74	77	±0,79
БНД 70/100 / ООО «Лукойл-Нижегороднефтеоргсинтез»	76, 76, 80, 80, 77, 80, 80, 80, 79, 77	79	±0,56
БНД 70/100 / Ярославский НПЗ «Славнефть»	155, 149, 149, 155, 160, 157, 157, 166 158, 159	157	±1,59
БНД 70/100 / Киришский НПЗ	103, 100, 103, 107, 96, 96, 102, 94, 95, 95	99	±1,41
БНД 70/100 / Ярославский НПЗ / (ООО «Дорсервис»)	104, 103, 102, 102, 103, 107, 110, 105, 104, 101	104	±0,85

Таблица 4

Показатели пенетрации нефтяных дорожных битумов при 0 °С

Заявленная марка БНД / Производитель	Показатель пенетрации, 0,1 мм	Среднее значение пенетрации, 0,1 мм	Значение доверительного интервала
БНД 70/100 / Ярославский НПЗ	15; 16; 14; 14; 14	15	±0,40
БНД 70/100 / Нижегородский НПЗ	13; 14; 13; 13; 14	13	±0,25
БНД 70/100-9 % «Амдор» / Ниж. НПЗ	15; 14; 15; 14; 14	14	±0,25
БНД 70/100 / ООО «Лукойл-Нижегороднефтеоргсинтез»	20; 19; 19; 20; 20	20	±0,25
БНД 70/100 / Ярославский НПЗ «Славнефть»	42; 43; 41; 43; 42	42	±0,38
БНД 70/100 / Киришский НПЗ	15; 14; 15; 14; 15	15	±0,25
БНД 70/100 / Ярославский НПЗ (ООО «Дорсервис»)	24; 27; 26; 25; 4	25	±0,58

Для определения достоверности полученных экспериментальных результатов была проведена их статистическая обработка, в частности вычислено среднее квадратичное отклонение и определено значение доверительного интервала.

Среднее квадратичное отклонение рассчитывается по формуле:

$$G = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

где x_i – значение пенетрации одного конкретного погружения иглы;

\bar{x} – среднее значение показателей пенетрации;

n – количество погружений иглы в образец (величина выборки).

Значение доверительного интервала определялось по формуле:

$$S_x = \pm \frac{G}{\sqrt{n}};$$

где G – среднее квадратичное отклонение;

n – количество погружений иглы в образец.

Значения доверительного интервала величины пенетрации приведены для каждого завода-производителя дорожного битума в таблице 2. Отчетливо видно, что все значения величины пенетрации при 25 °С либо входят в область допустимых значений, либо находятся рядом с этой областью. Это подтверждает достоверность полученных нами экспериментальных результатов.

Результаты экспериментальных исследований показателя пенетрации при 0 °С и статистической обработки его значений для конкретных НПЗ приведены в таблице 4.

Необходимо отметить, что показатели глубины погружения иглы на приборе пенетромтр при температуре 0 °С у большинства образцов не соответствуют заявленным производителем маркам нефтяного дорожного битума. Значения экспериментальных показателей пенетрации при 25 °С не удовлетворяют показателям заданной производителем марки (БНД 70/100) для четырех образцов нефтяного дорожного битума.

Пониженные значения температур размягчения позволяют сделать вывод о недостаточном содержании смол и асфальтенов в испытуемых битумах [2]. Недостаточное содержание смол и асфальтенов может приводить к их неудовлетворительной адгезии с поверхностью минеральных зерен, а также к низким показателям эластичности, растяжимости, вязкости, хрупкости и теплоустойчивости.

В настоящее время для характеристики вязкости твердых тел и вязких битумов пользуются глубиной проникания стандартной иглы (пенетрацией). Этот показатель характеризует глубину проникания тела стандартной формы в полужидкие и полутвердые продукты при определенном режиме, обуславливающим способность этого тела проникать в продукт, а продукт – оказывать сопротивление этому прониканию [3].

Вязкость (пенетрация) битума изменяется от температуры. При низких температурах вязкость битума относительно невелика, и он приобретает свойства твердого тела. При повышении температуры вязкость битума уменьшается. При этом происходит переход битума из твердого тела в жидкое состояние. Необходимо отметить, что для вязких битумов с структурированной системой показатель вязкости не является физической константой. Вязкие битумы при нормальной температуре обладают способностью к дополнительному сопротивлению сдвиговым деформациям. При этом их вязкость зависит от скорости деформации. Однако при разрушении структурных связей в битуме влияние скорости деформации на показатель вязкости уменьшается [2]. Все это обосновывает переход на новую систему проектирования асфальтобетонной смеси путем оптимального подбора марки битумного вяжущего. Новая система основывается на специально разработанной шкале PG Grade, которая основывается на реологических свойствах вяжущего, учитывая температурные диапазоны его применения [4].

В заключении необходимо отметить, что некорректное обозначение выпускных марок (БНД 70/100)

нефтяного дорожного битума производителем может приводить к изготовлению асфальтовяжущего вещества, состоящего из битума и минерального порошка, с неверным соотношением пропорций между компонентами. Как следствие, это может привести к низкой прочности асфальтобетона и недолговечности асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги.

Литература

1. ГОСТ 33136-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения глубины проникания иглы: издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21.07.2015 № 917-ст : введен 2015-11-01. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 01.12.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Дорожно-строительные материалы : учебник для вузов / И. М. Грушко, И. В. Королев, И. М. Борщ, Г. М. Мищенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1991. – 357 с.

3. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные, полимер-асфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия : утвержден и введен в действие приказом приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17.12.2013 г. № 2309-ст : введен 2014-11-01. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 01.12.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Кирюхин, Г. Н. Плюсы и минусы системы проектирования асфальтобетона Superpave / Г. Н. Кирюхин, Р. Б. Джуманов – URL: www.vptechnologiesllc.com/files/Superpave_.pdf (дата обращения: 01.12.2022). – Текст: электронный.

V.A. Shorin, A.Y. Velsovsky, S.A. Myasnikova
Vologda State University

STUDY OF PENETRATION (VISCOSITY) OF PETROLEUM ROAD BITUMEN FROM VARIOUS MANUFACTURERS

The article presents the results of a study of the penetration (viscosity) of oil road bitumen from various manufacturers. According to the results of the research, correlative relationships between the penetration and the composition of petroleum road bitumen were revealed. Qualitative indicators of petroleum road bitumen were determined by the viscosity value. For a number of bitumen grades BND 70/100, deviations from the requirements of GOST 33133-2014 were revealed, which justifies their inconsistency with the claimed bitumen brands.

Petroleum road bitumen, rheological properties, penetration (viscosity), composition of petroleum road bitumen, quality and grades of petroleum road bitumen.

УДК 004.94



С.В. Дианов¹, Д.С. Дианов²

¹Вологодский государственный университет,

²Вологодский научный центр Российской академии наук

ПРОТОТИП АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕТИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (научный проект № 22-28-01940)

В статье представлены основные аспекты реализации прототипа агент-ориентированной модели использования сети лесовозных дорог. Целью его создания являлась практическая интерпретация и апробация авторского подхода к построению подобных моделей. Полученные результаты вносят вклад в развитие инструментария, обеспечивающего принятие решений по повышению доступности лесных ресурсов.

Транспортная доступность лесных ресурсов, инструментарий поддержки принятия решений, агент-ориентированное моделирование, сервис-ориентированный подход.

Российская Федерация обладает огромными запасами лесных ресурсов, использование которых может внести существенный вклад в социально-экономическое развитие страны. Однако на текущий момент данный потенциал используется незначительно. Большинство лесов произрастает в труднодоступной местности, что обуславливает высокие издержки при заготовке и транспортировке древесины [2]. В связи с этим особую актуальность имеет вопрос о возможности построения эффективной территориальной инфраструктуры системы лесозаготовки. Здесь решающее значение имеет транспортная доступность сырьевой базы, прежде всего автомобильным транспортом. На сегодняшний день развитие сети лесных дорог – это одна из ключевых задач при повышении эффективности лесопользования [8].

Эффективность использования транспортных средств на вывозке древесины может быть обеспечена при рационально организованном процессе эксплуатации дорог. Поиск оптимального варианта заключается в том, что повышение качества автодороги приводит к ее удорожанию, но одновременно уменьшает затраты непосредственно на вывозку древесины [7]. Задачу использования территориальной сети лесных дорог можно описать следующим образом. Имеется набор размещенных в пространстве обозначенной территории узлов лесных участков. Формируется сеть, состоящая из множества разнообразных инфраструктурных узлов: точки разветвления лесных дорог; точки сопряжения лесных дорог с дорогами общего пользования; склады различных уровней, используемые для транспортировки лесных ресурсов, места первичной обработки и др. Каждый узел в соответствии со своим видом может иметь определенный набор характеризующих его в рамках решаемой задачи параметров. Между узлами сети может формироваться разнообразная система связей (путей). Пути также имеют характеристики, определяющие возможности перемещения

по ним транспортных средств. Характеристики путей могут изменяться во времени. В рамках процессов лесозаготовки по путям перемещаются различные виды техники, предназначенные для заготовки лесных ресурсов, их транспортировки, доставки работников, запасных частей, горюче-смазочных материалов и других целей. Каждый вид техники обладает характеристиками, влияющими на их производительность, способность перемещаться по путям и степень воздействия на изменение параметров путей. Инфраструктурные узлы, пути, транспортные средства имеют стоимость формирования и обслуживания. Узлы лесных участков имеют определенные запасы лесных ресурсов. Необходимо подобрать места расположения и параметры инфраструктурных узлов и путей между ними, а также структуры и схемы передвижения транспортных средств системы лесозаготовки таким образом, чтобы обеспечить наиболее рентабельный вариант заготовки и транспортировки лесных ресурсов на продолжительном периоде.

Существует множество исследований на тему возможности применения имитационного моделирования для решения задач повышения эффективности лесозаготовительного производства. Набор используемых при этом методов разнообразен: сети Петри [10], нечеткие сети [5], метод Монте-Карло [9], математическое моделирование и геоинформатика [1, 8], дискретно-событийное и агент-ориентированное моделирование [6]. Значительные возможности для решения проблемы эффективного использования лесных ресурсов территорий предоставляет инструментарий агент-ориентированного моделирования [3]. При этом на текущий момент существенной проблемой здесь является отсутствие единой методологической основы построения агент-ориентированных моделей в данной предметной области. В рамках ее решения авторами разработана концепция агент-ориентированного моделирования эффективной территориальной транспортной инфраструк-

туры системы лесозаготовки, базирующаяся на сервис-ориентированном подходе [4].

Основополагающим элементом концепции является модель, основанная на взаимодействии мобильных и стационарных сервисов и пользователей. Все объекты модели могут выступать в ролях потребителей и поставщиков услуг. В рамках процесса предоставления услуг они должны взаимодействовать либо непосредственно, либо с использованием иных объектов модели. Взаимодействие осуществляется в конфигурации территориальной транспортной сети, которая определяет характеристики взаимодействия. В процессе оказания услуг формируются значения заданного набора параметров оценки успешности функционирования модели – целевых показателей. Основная цель моделирования заключается в нахождении при имеющихся ресурсах (ограничениях) наиболее оптимальной архитектуры функционирования моделируемой системы исходя из значений целевых показателей.

В целях практической апробации представленной концепции в ее отдельных аспектах, а также демонстрации возможностей ее интерпретации был создан прототип агент-ориентированной модели использования сети лесовозных дорог. Он не является отображением реальной системы. На данном этапе авторы не стремились к точному соотношению модели предметной области. Многие элементы прототипа носят демонстрационный характер.

Рассматривается процесс лесозаготовки с использованием автомобильных дорог. Применяется сортиментная (скандинавская) технология заготовки. Предполагается, что существуют две отдельные транспортные базы: база лесозаготовительной техники и база большегрузной автомобильной техники, способной транспортировать лесозаготовительную технику. Их соединяет автомобильная дорога общего пользования. Имеется лесной участок, к которому от автомобильной дороги, соединяющей транспортные базы, проложена лесная дорога. На базе лесной техники размещаются один харвестер. В целях упрощения модели на данном этапе решено отказаться от моделирования работы форвардера. На базе автомобильной техники размещается один автомобиль. На лесном участке произрастает лесной массив. При его созревании запускается процесс рубки. При этом для доставки харвестера до лесной дороги используется грузовой автомобиль. Далее харвестер своим ходом доезжает до лесного участка и начинает рубку. По окончании рубки харвестер перемещается до автомобильной дороги, а затем грузовым автомобилем его доставляют на базу. Процесс моделирования осуществляется на длительном периоде, в течение которого происходит несколько моментов созревания лесного массива на участке. Лесная дорога при прохождении транспорта ухудшает свои характеристики, что сказывается на параметрах ее последующего прохождения. Цель моделирования – изучить эффективность затрат на обеспечение качества покрытия лесных дорог. В качестве критерия оценки модели выступает рентабельность процесса лесозаготовки. Она зависит от прибыли, полученной в результате заготовки древесной массы и затрат, возникающих в

процессе лесозаготовки. Используется условное время моделирования, не связанное со временем реальных процессов.

Прототип модели создан в среде AnyLogic. В модели имеются четыре узла (рис. 1): node (База перевозчиков) – место дислокации большегрузного автотранспорта, обеспечивающего перевозку лесозаготовительной техники; node1 (Лесной участок) – место размещения лесного участка, на котором осуществляется лесозаготовка; node2 (Перекресток) – общее место пересечения всех путей; node3 (База лесной техники) – место дислокации лесозаготовительной техники. Узлы соединены следующими путями: path, соединяющий узлы node и node2; path1, соединяющий узлы node2 и node1; path2, соединяющий узлы node2 и node3. Узлы и пути размещаются в установленном модельном пространстве.



Рис. 1. Схема размещения узлов прототипа модели

Пути path и path2 отображают автодороги общего пользования, а путь path1 – лесную автодорогу. Набор свойств данных элементов содержит единственный атрибут quality, определяющий качество дорожного покрытия. Домен его значений – действительные числа в диапазоне от 0 до 1. В прототипе модели данный параметр определен лишь для элемента path1. Исходя из специфики используемой среды моделирования для работы с параметрами элементов, для каждого из них создается агент. В данном случае создается агент Way, содержащий параметр quality. Данный агент имеет два состояния: эксплуатации (Exploitation) и технического обслуживания (Service). В состоянии технического обслуживания увеличивается значение параметра quality. Переход в данное состояние осуществляет в соответствии с установленным интервалом времени (Service_period), который является параметром управляющего воздействия и устанавливается на общемодельном уровне. Диаграмма состояний агента Way представлена на рисунке 2.

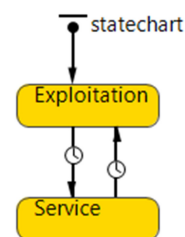


Рис. 2. Диаграмма состояний агента Way

Предполагается, что имеющиеся в модели объекты могут перемещаться строго по определенным для них маршрутам. Длина путей носит условный характер. На уровне среды реализации данные элементы прорисовываются с использованием элемента «Путь», который соединяет соответствующие узлы.

В модели определены три объекта: лесной участок, харвестер и автовоз. У объекта «лесной участок» тип мобильности установлен как стационарный. У двух других объектов – как мобильный. У них определены средние скорости перемещения. При этом объект «харвестер» может перемещаться только по лесной дороге, а объект «автовоз» – только по дорогам общего пользования.

Потребности определены на уровне объектов «лесной участок» и «харвестер». Для первого объекта – это потребность в рубке, а для второго – потребность в доставке к лесной дороге. Сервисы определены на уровне объектов: харвестер – рубка леса, автовоз – транспортировка техники.

Объект «лесной участок» имеет следующие параметры: возраст древостоя (Age), площадь древостоя (Square), объем древостоя (Volume).

На каждом шаге моделирования происходит изменение параметра Volume в зависимости от текущих значений параметров Age и Square.

Потребность в рубке возникает при достижении древостоем определенного возраста. При поиске поставщика сервиса объект «лесной участок» высылает сообщение о готовности объекту «харвестер».

В среде моделирования объект «лесной участок» реализован с использованием двух агентов: Les и Manager. Первый формирует значения параметров объекта, а второй отслеживает текущее состояние объекта и отсылает сообщение при возникновении потребности в рубке. Агент Les имеет три состояния, характеризующих возраст древостоя – молодой (Early), спелый (Ready) и переспелый (Late), а также состояние возрастного перехода (Change). Диаграмма состояний данного агента представлена на рисунке 3.

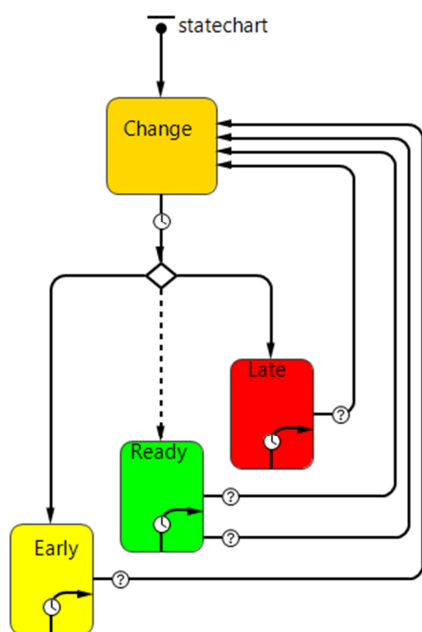


Рис. 3. Диаграмма состояний агента Les

Агент Manager может находиться в двух состояниях – мониторинга состояния агента Les (Select) и ожидания окончания предоставления сервиса по рубке (Wait). Находясь в состоянии Select агент через определенные промежутки времени проверяет состояние агента Les. Если оно равно Ready, то агент посылает сообщение объекту «харвестер» о необходимости оказания сервиса. После передачи сообщения агент Manager переходит в состояние ожидания. В данном состоянии он находится до тех пор, пока не получит ответное сообщение от объекта «харвестер» об окончании предоставления сервиса. Диаграмма состояний агента Manager представлена на рисунке 4.

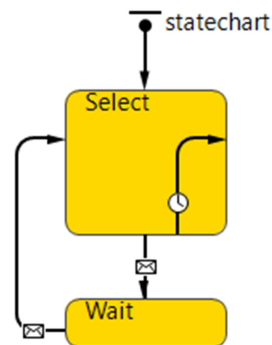


Рис. 4. Диаграмма состояний агента Manager

Объект «харвестер» имеет параметр производительность (Performance) – объем леса, который он может вырубить за определенное время. Предоставляя сервис рубка леса, он изменяет параметры Volume и Age объекта «лесной участок». Одновременно с этим он увеличивает значение параметра общего заготовленного объема древесины (Zagotovleno). Данный параметр определен на общемодельном уровне.

Объект «харвестер» имеет реализацию в системе моделирования в виде агента Harvester. Данный агент имеет множество состояний, которые можно разделить на следующие группы: ожидание запроса на предоставление сервиса по рубке леса; получение сервиса по транспортировке до лесной дороги; перемещение по лесной дороге до лесного участка; предоставление сервиса по рубке леса; перемещение по лесной дороге до автомобильной дороги общего пользования; получение сервиса по транспортировке до базы лесной техники. Потребность в сервисе по транспортировке возникает при изменении состояния агента после получения сообщения от объекта «лесной участок» о запросе сервиса, либо после окончания предоставления сервиса после перемещения до дороги общего пользования. При поиске поставщика сервиса объект «харвестер» имеет пассивное поведение. При этом он отправляет сообщение объекту «автовоз» о наличии соответствующей потребности. Параметры сообщения содержат информацию о месте доставки.

Объект «автовоз» в системе моделирования реализован в виде агента Auto. Агент активизирует функционал по предоставлению сервиса по перевозке после получения сообщения от объекта «харвестер». Он перемещает харвестер в узел, указанный в сообщении. При этом предварительно он передвигается в место текущей дислокации харвестера. После оказа-

ния услуги агент Auto перемещается в узел node (База перевозчиков).

На уровне агентов Harvester и Auto определены переменные Current_time, в которых фиксируется время выполнения ими текущих операций. На общемодельном уровне введены переменные Time_harvester и Time_auto, в которых накапливается общее время, затраченное агентами Harvester и Auto на выполнение операций.

Регулируемыми параметрами в прототипе модели являются: стоимость единицы объема заготовленной древесины (Price_forest); стоимость использования автовоза за единицу времени (Price_avto); стоимость использования харвестера за единицу времени (Price_harvester); стоимость технического обслужива-

ния лесной дороги (Price_service); период сервисного обслуживания лесной дороги (Service_period).

Для подсчета количества сервисных обслуживаний в модель введена переменная Service_count. В качестве целевого показателя для созданного прототипа модели выступает рентабельность процесса лесозаготовки. Для его расчета в модель введена переменная profitability. Она обновляется на каждом шаге модельного времени. Формула расчета:

$$\text{profitability} = \text{Price_forest} * \text{Zagotovleno} - (\text{Price_harvester} * \text{Time_harvester} + \text{Price_avto} * \text{Time_auto} + \text{Service_count} * \text{Price_service}).$$

Окно с результатами моделирования представлено на рисунке 5.

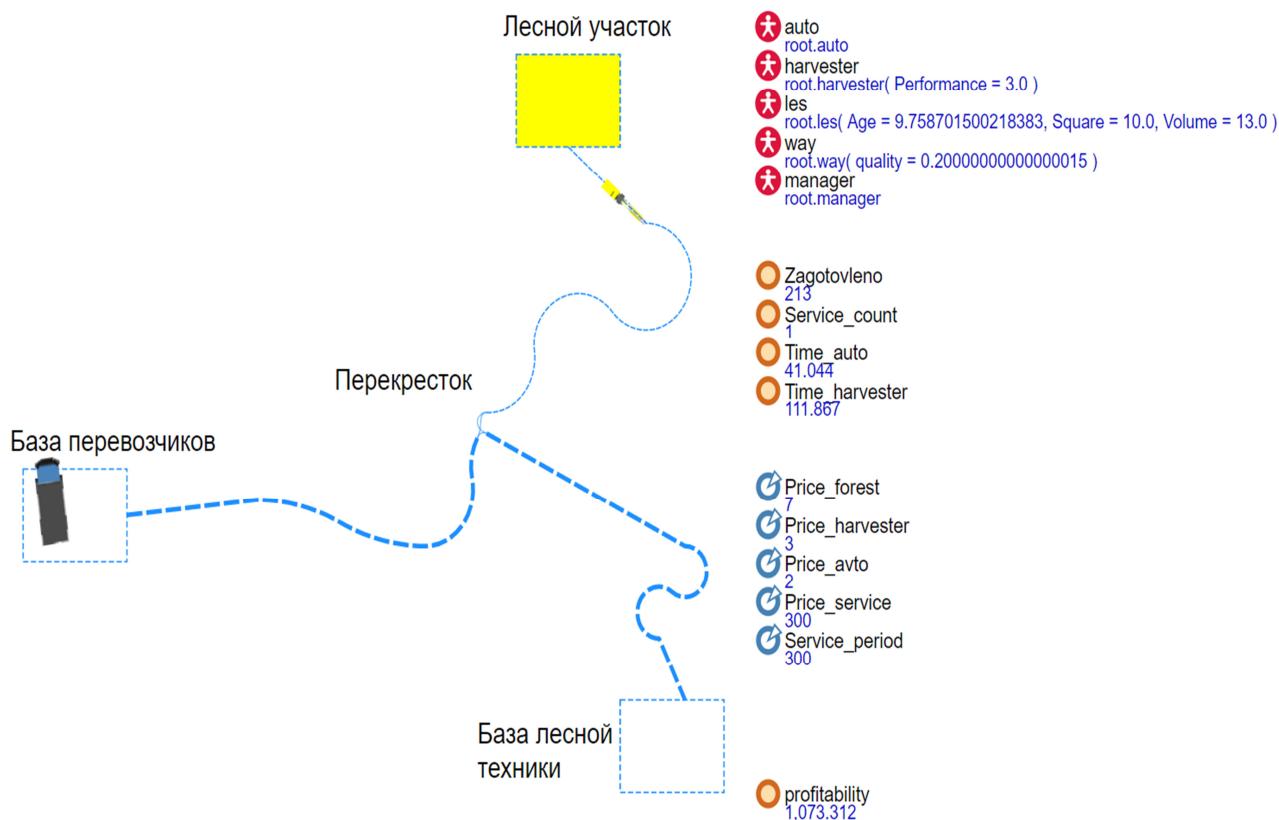


Рис. 5. Окно с результатами моделирования

Таблица

Результаты экспериментов

№ пп	Период сервисного обслуживания, единиц модельного времени	Объем заготовленной древесины, условных единиц объема	Рентабельность, условных денежных единиц
1	300	213	1073,312
2	250	213	773,312
3	200	213	783,558
4	150	213	658,366
5	100	213	381,426
6	50	219	-419,146

С использованием созданного прототипа модели авторами был проведен ряд экспериментов. В таблице представлены результаты экспериментов, связанные с изменением параметра периода сервисного обслуживания лесной дороги при неизменности остальных параметров: Price_forest=7; Price_avto=2; Price_harvester=3; Price_service=300. В качестве условной единицы времени моделирования выбраны секунды. Общее время моделирования 300 секунд.

По результатам экспериментов обращают на себя внимание следующие факты. Наилучший результат, с точки зрения рентабельности, был получен при периоде сервисного обслуживания, равному модельному времени. При этом наихудший результат по параметру рентабельность оказался наилучшим по объему заготовленной древесины. Т.е. за счет более качественного обслуживания лесной дороги повысилась скорость передвижения по ней харвестера к месту лесозаготовки. И это, в свою очередь, обеспечило больший объем лесозаготовки за моделируемый период.

Полученные результаты имеют практическую значимость с точки зрения интерпретации разработанной концепции построения агент-ориентированных моделей формирования инфраструктуры лесозаготовки и подтверждения возможности построения с его помощью моделей реальных систем, обеспечивающих их оценку и принятие решений по развитию.

Литература

1. Герасимов, Ю. Ю. Разработка системы оптимального проектирования сети лесовозных автомобильных дорог / Ю. Ю. Герасимов, А. П. Соколов, В. К. Катаров // Информационные технологии. – 2011. – № 1 (68). – С. 39–43.
2. Гребенюк, А. Л. Проблема доступности лесных ресурсов / А. Л. Гребенюк, И. А. Гарус ; под редакцией Е. А. Памфилова // Актуальные проблемы лесного комплекса : сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. – Брянск : БГИТА, 2014. – Вып. 39. – С. 3–4.
3. Гулин, К. А. Теоретические аспекты агент-ориентированного моделирования развития лесного комплекса / Гулин К. А., Антонов М. Б. // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2017. – Т. 10, № 6. – С. 59–74.
4. Дианов, С. В. Задача оптимального пространственного размещения сервисов для систем с мобильными пользователями // Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес (ИНФОС-2020) : материалы одиннадцатой заочной международной научно-технической конференции (Вологда, 29–30 июня 2020 г.). – Вологда : Вологодский государственный университет, 2020. – С. 53–55.
5. Оптимизация маршрутов доставки древесины на основе нечеткой динамической транспортной сети / К. А. Комаров, В. Ю. Фомина, М. М. Герасимова, А. П. Мохирев // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Красноярск, 25–26 апреля 2018 г.) / ответственные редакторы Ю. А. Безруких, Е. В. Мельникова. – Красноярск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», 2019. – С. 205–210.
6. Мохирев, А. П. Моделирование структуры лесотранспортных потоков / А. П. Мохирев, К. П. Рукомойников. – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2022. – 396 с.
7. Влияние природно-производственных факторов на транспортные затраты лесозаготовительного производства / А. П. Мохирев, М. О. Позднякова, Т. С. Гудень, В. Д. Сухинин // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9, № 2 (34). – С. 107–117.
8. Оценка доступности лесных ресурсов с использованием современных методик на базе географических информационно-аналитических систем / А. П. Мохирев, М. О. Позднякова, С. Ю. Резинкин, В. О. Мамматов // Лесотехнический журнал. – 2017. – № 4. – С. 109–122.
9. Имитационная модель функционирования лесовозной автомобильной дороги / В. В. Никитин, В. Г. Козлов, А. Ю. Арутюнян, М. М. Умаров // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2016. – Т. 20, № 2. – С. 167–172.
10. Соколов, А. П. Имитационное моделирование производственного процесса заготовки древесины с помощью сетей Петри / А. П. Соколов, Е. В. Осипов // Лесотехнический журнал. – 2017. – Т. 7, № 3 (27). – С. 307–314.

S.V. Dianov¹, D.S. Dianov²

¹Vologda State University,

²Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

PROTOTYPE OF AGENT-ORIENTED MODEL FOR FORMING FOREST ROADS NETWORK

The article presents the main aspects of the implementation of the prototype agent-based model for the use of a network of logging roads. The purpose of its creation was the practical interpretation and testing of the author's approach to the construction of such models. The results obtained contribute to the development of tools that provide decision-making to increase the availability of forest resources.

Transport accessibility of forest resources, decision support tools, agent-based modeling, service-oriented approach.



АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ УЧЕБНЫХ ЗАДАНИЙ ПО ЯЗЫКУ PROLOG

В статье рассмотрены особенности реализации автоматической проверки решений заданий студентов по языку логического программирования Prolog. Приведен пример задания, для которого реализована автоматическая проверка. Полученный программный продукт может использоваться в таких учебных курсах, как «Логика и теория алгоритмов», «Функциональное и логическое программирование».

Язык Prolog, логическое программирование, обучающие системы, электронное обучение.

Логическое программирование – это способ программирования, в котором программы задаются в форме логических утверждений и правил вывода. Можно сказать, что данный подход реализует парадигму декларативного программирования. В декларативном программировании (в отличие от традиционного императивного) разработчик не составляет детальный пошаговый алгоритм решения задачи, а вместо этого определенным образом описывает объекты предметной области, их свойства, связи, а также описывает, что нужно получить в качестве ответа.

История логического программирования насчитывает уже более 50 лет. В разные годы с развитием новых языков и концепций интерес к данной области то увеличивался, то затихал. Наиболее сильно интерес к логическому программированию поднимался в 80-х годах при разработке японской национальной программы компьютеров пятого поколения. Разработчики надеялись, что с помощью данной технологии им удастся добиться значительных успехов в развитии искусственного интеллекта, но фактические успехи были довольно скромные. В настоящее время можно снова заметить рост интереса к логическому программированию в связи с развитием искусственного интеллекта, дедуктивных баз данных, возможности использования его для описания бизнес-логики предприятий и др. Много интересных примеров можно найти в недавней книге [1].

Одним из наиболее известных языков логического программирования является Пролог (Prolog). Он был разработан еще в 70-е годы, но продолжает использоваться и в настоящее время. Математическую основу языка составляет исчисление предикатов первого порядка. Входные данные и связи между ними представляются в виде дизъюнктов Хорна. В качестве механизма логического вывода используются метод резолюций, также для поиска решений применяется перебор с возвратом и отсечениями [2].

На кафедре автоматике и вычислительной техники Вологодского государственного университета язык Пролог используется в основном в двух учебных кур-

сах. Первоначальное знакомство с языком происходит в курсе «Логика и теория алгоритмов», а более подробное изучение – в курсе «Функциональное и логическое программирование». На лекциях студенты изучают особенности данного языка, а затем закрепляют полученные знания во время лабораторных и практических работ.

При этом перед преподавателями возникает следующая проблема. Ручная проверка заданий отнимает от 5 до 15 минут на одно решение (в зависимости от сложности задания). Возникает потребность автоматизировать проверку решений. Решение этой задачи даст целый ряд плюсов: позволит освободить преподавателей от части рутинной работы, повысит качество проверки, позволит сдавать решения дистанционно, в том числе создавать онлайн-курсы с неограниченным количеством обучающихся.

Основная сложность поставленной задачи состоит в следующем. В традиционных электронных обучающих системах (таких как Moodle) можно автоматизировать лишь простые проверки: тесты с выбором вариантов ответов, вводом конкретных чисел и слов. В специализированных же системах, поддерживающих проверку программного кода (Яндекс.Contest, Codeforces) язык Пролог не поддерживается. При этом возможность добавления новых языков программирования в них отсутствует.

К счастью, на кафедре автоматике и вычислительной техники ВоГУ разработана и уже несколько лет используется собственная автоматическая проверяющая система – дистанционный практикум по программированию и базам данных, доступный по адресу <http://avt.vogu35.ru/acm>. Практикум содержит более двух тысяч заданий разной сложности с автоматической проверкой решений [3, 4]. Для нас важно то, что данная система поддерживает добавление новых языков программирования.

На следующем этапе необходимо было решить, какой именно транслятор Пролога добавлять в систему. Существуют несколько трансляторов данного языка. К наиболее известным можно отнести SWI Prolog, GNU Prolog и Visual Prolog. Все перечислен-

ные проекты поддерживаются и развиваются, периодически выходят новые версии.

Нами был выбран SWI Prolog по следующим причинам. В данной версии, кроме консольного транслятора, имеется также онлайн-среда разработки. Это удобно для лабораторных работ, поскольку не требует установки каких-либо программ на компьютере в классе. Кроме того, онлайн-среда поддерживает создание не только традиционных программ, но и так называемых ноутбуков (по аналогии с Jupyter-ноутбуками языка Python). Ноутбук состоит из отдельных ячеек, в каждой из которой написан либо программный код, либо отформатированный текст. Ячейки с кодом можно изменять и запускать в произвольном порядке, что удобно при проведении экспериментов с данными. Кроме того, SWI Prolog содержит целый ряд дополнительных библиотек, например для графики [5].

При добавлении SWI Prolog в систему мы столкнулись с некоторыми особенностями и тонкостями. На первом шаге был установлен транслятор на сервер – это делается обычным образом. Далее для проверки работы была написана простейшая программа для вычисления суммы двух целых чисел:

```
main :- read(A),
        read(B),
        S is A + B,
        writeln(S).
```

Чтобы запустить данную программу из командной строки, использовалась следующая команда:

```
swipl.exe --quiet=true --stack_limit=64M -O -t main
aplusb.pl <input.txt
```

Однако при попытке записать два числа в файл input.txt и запустить программу было получено довольно странное сообщение об ошибке:

```
ERROR: main/0: Arithmetic: `end_of_file/0' is not a function
```

Поиск причины данной ошибки показал следующее. Программа начинает работать верно, если числа во входном файле будут завершаться точкой, например «5. 7.». Однако так работать неудобно по двум причинам. Во-первых, в онлайн-среде SWI Prolog при вводе чисел точек добавлять к ним не нужно. Если это будет требоваться на сервере, то вызовет лишнюю путаницу у обучающихся. Во-вторых, хотелось бы, чтобы на Прологе можно было решать не только новые, но и уже имеющиеся в системе задачи. А в их входных данных лишние точки, разумеется, не держатся.

Для решения возникшей проблемы была изучена документация к SWI Prolog, в которой был найден способ чтения чисел без дополнительных символов. Для этого можно создать следующий предикат и использовать его вместо предиката read:

```
readTermWithoutDot(X) :- readln(X1, _, [13, 10, 32],
_, _),
        atomics_to_string(X1, X2),
        term_string(X, X2).
```

Но такой вариант, во-первых, громоздок. Во-вторых, он работает только в консоли, но не работает в онлайн-среде. Поэтому окончательно был принят следующий подход. При написании программ в он-

лайн-среде обучающиеся используют предикат read. При отправке решения на проверяющий сервер в начало программы автоматически добавляется вышеприведенный код, а все вызовы read заменяются на вызовы readTermWithoutDot. Для этого был написан специальный скрипт на языке Python, который выполняет, по сути, препроцессинг исходного кода перед вызовом транслятора swipl.

В заключение приведем пример задания по языку Пролог с автоматической проверкой решений. Имеется база данных на языке Prolog, содержащая описание некоторой семьи. Фрагмент базы выглядит так:

```
parent(bob, liz).
man(bob).
woman(liz).
```

Для подключения базы данных к своей программе нужно написать в начале программы строчку:

```
:- use_module(library(family)).
```

Требуется для двух заданных имен А и В определить, является ли А матерью В. Пример возможного решения:

```
:- use_module(library(family)).
brother_or_sister(X, Y) :- parent(A, X), parent(A, Y).
main :- read(X), read(Y),
        (parent(X, Y), woman(X) -> write("Yes"));
write("No")), nl.
```

Опыт использования реализованной автоматической проверки заданий в учебном процессе подтвердил, что поставленные цели успешно достигнуты. У преподавателя значительно сокращаются временные затраты на проверку решений, а обучающиеся получают уверенность, что их решения будут проверены быстро, качественно и в любое время.

Литература

1. Дженесерет, М. Введение в логическое программирование / Майкл Дженесерет, Винай К. Чаудри ; перевод с английского С. В. Минц. – Москва : ДМК Пресс, 2002. – 192 с.
2. Андрианов, И. А. Математическая логика и теория алгоритмов : методические указания к практическим занятиям и курсовой работе / И. А. Андрианов, А. Н. Сорокин. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2013. – 42 с.
3. Web Resource for Teaching Programming in the Form of Tournaments / I. A. Andrianov, S. U. Rzhеutskaya, A. V. Rzhеutskiy [et al.] – DOI 10.1109 / Inforino53888. 2022.9782974 // 2022 6th International Conference on Information Technologies in Engineering Education, Inforino 2022 – Proceedings : 6, Moscow, 12–15 апреля 2022 года. – Moscow, 2022.
4. Андрианов, И. А. Применение дистанционного практикума по программированию для проверки решений задач математической экономики / И. А. Андрианов // Реформирование экономики: проблемы, успехи, перспективы : Материалы Международной научно-практической конференции (Вологда, 1–2 октября 2020 г.) / главный редактор А. В. Маклахов. – Вологда : ВоГУ, 2021. – С. 29–32.
5. SWI Prolog : официальный сайт. – URL: www.swi-prolog.org (дата обращения: 01.11.2022). – Текст : электронный.

I.A. Andrianov
Vologda State University

AUTOMATION OF CHECKING CLASS ASSIGNMENTS IN THE PROLOG LANGUAGE

The article discusses the features of the implementation of automatic checking of students' tasks in the logic programming language Prolog. An example of a task with automatic check is given. The resulting software product can be used in such training courses as «Logic and Theory of Algorithms», «Functional and Logic Programming».

Prolog language, logic programming, learning systems, e-learning.



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

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УДАЛЕННОГО КОНТРОЛЯ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТОНИИ И САХАРНОГО ДИАБЕТА С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПАЦИЕНТА

Работа выполнена по государственному научному гранту Вологодской области

Одним из важнейших стратегических направлений в сфере здравоохранения является повсеместная цифровизация, обусловленная не только возможностью дистанционного взаимодействия между врачом и пациентом, но и также возможностью непрерывного удаленного мониторинга состояния здоровья пациентов. Удаленный мониторинг позволяет в режиме реального времени оценивать целевые показатели здоровья, персонализируя медицинскую помощь. В данном пилотном исследовании проведена оценка приверженности пациентов к проведению непрерывного мониторинга показателей здоровья с применением программно-аппаратного комплекса, позволяющего передавать данные пациента непосредственно в информационные системы здравоохранения.

Удаленный мониторинг пациента, телемедицина, артериальное давление, сахарный диабет, телемедхаб.

Хронические патологии, такие как заболевания сердечно-сосудистой системы, онкология, хронические респираторные заболевания, иммунные и эндокринные патологии, являются основной причиной смерти в мире – они вызывают 70 % всех случаев смерти. Ежегодно из 41 миллиона человек, скончавшихся в результате хронических болезней, половина людей умирает в возрасте до 70 лет и 50 % смертности составляют женщины [1]. Помимо методов профилактики, таких как исключение вредных привычек, соблюдение диет и двигательной активности, решающее значение имеет ведение хронических заболеваний, которое включает выявление, обследование и лечение заболеваний, а также паллиативную помощь тем, кто в ней нуждается. Поэтому развитие и продвижение охвата такими услугами здравоохранения, как телемедицина, имеет важное значение для борьбы с хроническими заболеваниями и работы по сокращению числа предотвратимой потери дееспособности и абсолютного показателя смертности. Исходя из таких данных становится понятна повсеместная озабоченность организацией телемедицинской помощи, а также увеличения числа компаний, занимающихся разработкой облачных решений и телемедицинского оборудования.

В настоящее время все более серьезно рассматривается подход к организации телемедицинской помощи, направленной на удобство и эффективность получения медицинской помощи. Телемедицинские технологии уже достаточно давно и успешно применяются для борьбы с хроническими патологиями, однако вопрос о повсеместном внедрении технологий, в том числе для первичного звена здравоохранения, остается открытым. Современные пациентоориентированные решения должны не только обеспечивать достижение клинически значимых результатов, но и обеспечивать лучшую приверженность пациентов. В це-

лях оптимизации подхода к оказанию телемедицинской помощи населению и внедрения удаленного мониторинга состояний разработан комплекс удаленного мониторинга состояния здоровья пациентов, отвечающий современным стандартам оказания медицинской помощи населению. Целью настоящего пилотного исследования является систематизация и определение целесообразности применения программно-аппаратного комплекса «ТелеМедХаб», получения предварительных данных, важных для планирования дальнейших этапов исследования, в том числе направленных на увеличение выборки и изменения приоритета использования по отношению к различным нозологиям. Проведено простое пилотное исследование удовлетворенности пользователей и покрытия диагностических потребностей у 14 пациентов (из них 8 мужчин, 7 женщин, возраст от 18 до 70 лет, средний возраст $41,2 \pm 17,2$ лет), страдающих сахарным диабетом 1 или 2 типа (СД) или артериальной гипертензией (АГ) и ишемической болезнью сердца (ИБС). Среди всех пациентов 4 страдали СД, 10 – патологией сердечно-сосудистой системы.

Критерии включения:

1. Возраст 18 лет и более.
2. Сахарный диабет I типа.
3. Сахарный диабет II типа.
4. Ишемическая болезнь сердца.
5. Легочно-сердечная недостаточность неуточненная.
6. Нахождение на диспансерном наблюдении в медицинском учреждении по месту жительства.
7. Приверженность терапии, регулярное наблюдение.

Критерии исключения:

1. Острые неотложные состояния, требующие немедленного оказания медицинской помощи и/или госпитализации для последующего стационарного наблюдения.

2. Обострение основного заболевания, требующего переоценки назначенной терапии.

3. Отказ от участия.

Критерии невключения:

1. Возраст менее 18 лет или более 70 лет.

2. Асоциальное поведение.

3. Наличие психоневрологической патологии или применение препаратов, серьезно влияющих на психический статус пациента.

Таким образом, в исследование включались пациенты, имеющие хроническую патологию, по которой они регулярно наблюдались у лечащего врача в медицинском учреждении 1 уровня. Все пациенты, включенные в исследование, подписывали информированное добровольное согласие пациента, после чего включались в группу исследования.

После включения в исследования лечащими врачами в индивидуальном порядке устанавливалась цель дистанционного мониторинга состояния здоровья пациента, а также порядок действий пациента в зависимости от потребностей наблюдения. В частности, устанавливались следующие критерии поддержания здоровья:

1. Целевое артериальное давление менее 130/70 мм рт. ст.

2. Целевой уровень гликированного гемоглобина менее 6,5 %.

Для наблюдения за состоянием здоровья пациентов использовался программно-аппаратный комплекс для мониторинга за состоянием здоровья пациентов, включающий следующие медицинские изделия и программное обеспечение:

1. Телекоммуникационное устройство для сбора данных с медицинских изделий.

2. Электронный тонометр «AND UA-911 BT-C».

3. Глюкометр «Contour Plus One» с комплектом тест-полосок.

4. Облачная телемедицинская платформа TeleMedHub.

5. Медицинская информационная система (МИС) медицинской организации.

Непосредственно перед выдачей устройств для мониторинга на первом визите лечащими врачами проводился инструктаж пациентов, включающий обучение пациентов правилам самостоятельной оценки артериального давления и проведения глюкометрии периферической крови, после чего пациенту выдавали соответствующий программно-аппаратный комплекс.

Взаимодействие пациента и врача, осуществляющего дистанционное наблюдение и экстренное реагирование, проводилось с использованием телемедицинской платформы <https://webmed.telemedhub>. Результаты дистанционного наблюдения еженедельно в течение всего периода исследования экспортировались в формате pdf в МИС медицинского учреждения. Обмен данными в составе программно-аппаратного комплекса осуществлялся в соответствии с современными стандартами HL7® FHIR®, тем самым отвечая требованиям по защите пер-

сональных данных, составляющих врачебную тайну.

В настоящем исследовании были использованы следующие методы: клинические, социологические (анкетирование на основе рекомендованной методологии), статические (описательная статистика, t – критерий для сравнения средних значений, построение и анализ динамических рядов). Удовлетворенность использования телемедицинского комплекта оценивалась путем социологического опроса. По данным опроса среди как врачей, так и пациентов было установлено, что все респонденты оценили программно-аппаратный комплекс как удобный в повседневном использовании, а также простой для ежедневной оценки физиологических показателей. Анкетирование среди пациентов также позволило установить, что использование технологий позволяет автоматизировать рутинное ведение дневников на бумажных носителях, а также снимает необходимость подготовки дневников контроля перед посещением врача. При этом только 60 % респондентов среди пациентов заинтересованы в продолжении дистанционного наблюдения, в то время как все опрошенные лечащие врачи заинтересованы во внедрении телемедицинских технологий по удаленному мониторингу за состоянием пациентов с использованием программно-аппаратного комплекса.

Все участвующие в исследовании пациенты проводили контроль показателей и отправку данных лечащему врачу в соответствии с рекомендациями лечащего врача, а также в зависимости от собственного самочувствия. В качестве унифицирования измерений оценивался период в течение 14 ± 3 дней.

Так, среди пациентов с АГ или ИБС количество периодов мониторинга составляло от 1 до 10 раз/сут (среднее значение $3,2 \pm 2,9$ измерений, мода – 1, медиана – 2). У пациентов с СД составляло от 2 до 6 измерений (среднее значение – 3 ± 2 измерений, мода и медиана – 2).

Таким образом, за один период общее количество измерений у пациентов с повышенным артериальным давлением составляло от 5 до 65 измерений (среднее значение – $22,6 \pm 13,6$ измерений, мода – 12, медиана – 18,5). Из них только 4 пациента проводили мониторинг 3 и более периодов. При этом в данной подгруппе среднее количество измерений колебалось от 8 до 65 измерений (среднее значение $25,1 \pm 14,6$ измерений, мода – 11, медиана – 24). При статистическом анализе статистически значимых различий от общей выборки не выявлено.

У пациентов с СД количество измерений за период составляло от 15 до 62 раз (среднее значение $31,5 \pm 13,2$ измерений, мода – 27, медиана – 28,5). Только 1 пациент из этой подгруппы осуществлял мониторинг более 2 месяцев. Динамика количества измерений проанализирована посредством построения динамических рядов для пациентов, проводивших мониторинг в течение более 3 периодов. Подробные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели динамических рядов у пациентов, проводящих удаленный мониторинг состояния здоровья в течение 3 периодов и более

	Средний уровень ряда	Средний абсолютный прирост (средняя скорость роста)	Средний коэффициент роста	Средний темп роста	Средний темп прироста
Пациент 1	32,33	1	1,04	103,71	3,71
Пациент 2	38	0,5	1,02	102,06	2,06
Пациент 3	20,1	-0,22	0,99	98,62	-1,38
Пациент 4	17,25	0	1	100	0
Пациент 5	33,5	-4	0,88	88,46	-11,54

Таблица 2

Результаты статически значимых различий систолического и диастолического давлений между первыми и последующими наблюдениями

	Количество периодов наблюдения	Статистическая значимость различий между первым и последующими периодами
Пациент 1	2	Статистически не значимо ($p > 0,05$)
Пациент 2	6	Статистически не значимо ($p > 0,05$)
Пациент 3	2	Статистически не значимо ($p > 0,05$)
Пациент 4	2	Статистически не значимо ($p > 0,05$)
Пациент 5	3	Статистически не значимо ($p > 0,05$)
Пациент 6	10	Статистически значимо для всех периодов ($p < 0,0001$)
Пациент 7	4	Статистически значимо для всех периодов ($p < 0,0001$)
Пациент 8	1	Статистически не значимо ($p > 0,05$)
Пациент 9	1	Статистически не значимо ($p > 0,05$)
Пациент 10	1	Статистически не значимо ($p > 0,05$)

В сравнении с исходными показателями измерений в первом периоде только у одного пациента отмечалось относительно устойчивое поддержание уровня приверженности относительно врачебных рекомендаций. При этом отрицательные значения показателей свидетельствуют о неуклонном снижении числа измерений каждого отдельного пациента. Данный феномен говорит в первую очередь о снижении потребности в частых измерениях, связанных с улучшением общего состояния. Однако такое снижение приверженности пациента также повышает риск полного отказа от удаленного мониторинга. Подобные тенденции наблюдаются в медицинской практике повсеместно и всегда связаны со снижением приверженности пациентов к контролю собственного здоровья при любом краткосрочном улучшении самочувствия пациента.

Суммируя объем выполненных диагностических измерений среди пациентов с различными хроническими патологиями, было отмечено следующее: пациенты с сердечно-сосудистой патологией провели 730 измерений, тогда как пациенты с СД – 424 измерения. При последующем анализе данных было выявлено, что в группе пациентов, страдающих СД, не были учтены особенности передачи данных глюкометром, таким образом, часть данных была утеряна в связи с преждевременным отключением глюкометра,

в результате чего предыдущее и последующее измерения фиксировались в информационной системе, как проведенные в одно и то же время. Таким образом, уровень технологических дефектов составил 2,3 %.

Поскольку исследование также включало оценку достижения целевых физиологических показателей, также была проведена оценка их достижимости. У пациентов с АГ достижение целевых показателей с устойчивым их поддержанием отмечено в 100,0 % случаев. Однако статистически значимые различия систолического и диастолического давления были достигнуты только при оценке более 4 периодов. Подробные результаты представлены в таблице 2.

В ходе пилотного исследования были достигнуты первичные задачи исследования, а также изучены возможные варианты адаптации программно-аппаратного комплекса для дистанционного наблюдения. Было предположено, что для более значимого мониторинга может быть эффективно расширение перечня применяемых в мониторинге медицинских изделий и, как следствие, диагностических параметров. Дополнительные медицинские изделия могут быть интегрированы в комплекс с целью всеобщей оценки состояния пациентов, в том числе не только рутинными методами, но и более сложными, такими как лабораторная оценка биохимических показателей крови, мочи.

Значимость дистанционного мониторинга пациентов клинически обоснована и направлена на достижение целевых значений физиологических параметров за счет улучшенного самоконтроля со стороны пациентов, а также возможностью непрерывного мониторинга здоровья пациентов со стороны медицинской организации и непосредственно лечащим врачом. Согласно результатам исследования, достижение и поддержание целевых значений артериального давления и уровня сахара в периферической крови определялось только при длительном осуществлении дистанционного наблюдения в течение более 4 периодов по 2 недели. Данные результаты подтверждаются и другими аналогичными исследованиями, в которых достижение целевых показателей артериального давления при разных способах самоконтроля фиксируется только при наблюдении в течение 1 года [2]. Отсутствие значимых различий в группе наблюдения обусловлено малой продолжительностью удаленного мониторинга.

При использовании медицинских изделий 2,3 % измерений не были учтены, так как содержали дефект данных, связанный с реализацией передачи данных. Согласно исследованиям погрешности обработки и передачи данных общее количество дефектных или утраченных измерений колеблется в диапазоне 3,9–10,3 % [3]. Таким образом, значение дефектных данных не превышает средний показатель, что говорит о хорошей оптимизации процессов обработки и передачи данных измерений.

Ключевой проблемой на данном этапе внедрения телемедицинских технологий в практическое здравоохранение остается низкая приверженность пациентов к выполнению рутинных процедур по оценке состояния здоровья. По данным систематического обзора 2021 г. уровень приверженности к регулярным измерениям физиологических параметров у пациентов, стра-

дающих от хронических патологий, составляет от 61,0 до 96,0 %. При этом не удается определить факторы, влияющие на приверженность. Выявлена очень слабая статистическая ассоциация с полом, однако данные остаются противоречивыми [4]. Отрицательная динамика числа измерений при продолжительном использовании программно-аппаратного комплекса демонстрирует необходимость влияния на общую приверженность не только к краткосрочным методам контроля состояния здоровья, но и к более продолжительным, например в течение периода амбулаторного наблюдения в течение 1 года.

Литература

1. ВОЗ публикует статистику о ведущих причинах смертности и инвалидности во всем мире за период 2000–2019 гг. – URL: www.who.int/ru/news/item/09-12-2020-who-reveals-leading-causes-of-death-and-disability-worldwide-2000-2019 (дата обращения: 31.10.2022). – Текст : электронный.
2. Home and Online Management and Evaluation of Blood Pressure (HOME BP) using a digital intervention in poorly controlled hypertension: randomized controlled trial / The BMJ. – URL: www.bmj.com/content/372/bmj.m4858 (дата обращения: 01.11.2022). – Text : Electronic.
3. Monitoring data quality for telehealth systems in the presence of missing data / T. Mahmood [et al.] // International Journal of Medical Informatics. – 2019. – Vol. 126. – PP. 156–163.
4. Adherence to telemonitoring by electronic patient reported outcome measures in patients with chronic diseases: A Systematic Review: 19 / J. Wiegel [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. – 2021. – Vol. 18, № 19. – P. 10161.

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

DEVELOPMENT OF METHODS FOR REMOTE CONTROL OF ARTERIAL HYPERTENSION AND DIABETES MELLITUS USING MODERN MEANS OF PATIENT REMOTE MONITORING

One of the most important strategic directions in the field of healthcare is widespread digitalization, due not only to the possibility of remote interaction between a doctor and a patient, but also to the possibility of continuous remote monitoring of the patients' health. Remote monitoring allows you to evaluate health targets in real time, personalizing medical care. In this pilot study, the assessment of patients' commitment to continuous monitoring of health indicators was carried out using a software and hardware complex that allows transmitting patient data directly to health information systems.

Remote patient monitoring, telemedicine, blood pressure, diabetes mellitus, telemedhab.



АРХИТЕКТУРА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПЛАНИРОВЩИКА ЗАДАНИЙ

В данной статье представлен аналитический обзор существующих вариантов планирования задач в вычислительных системах. Анализ показывает преимущества и недостатки каждого варианта. Предлагается собственная архитектура распределенного планировщика задач, основанная на распределенной системе обмена сообщениями Apache Kafka.

Планирование задач, система обмена сообщениями, Apache Kafka.

В современном мире в различных сферах деятельности присутствует множество ресурсоемких задач, требующих объемных вычислений. Для решения таких задач применяются вычислительные системы, состоящие из определенного количества узлов, связанных сетью передачи данных. Для отправки большой задачи на выполнение в распределенную вычислительную систему ее нужно декомпозировать, то есть разделить одну большую задачу на подзадачи, а затем весь список подзадач отправить на исполнение в определенные подсистемы. Из-за высокой сложности распределенных систем у них имеется множество точек отказа, поэтому если не предпринимать действий для обеспечения надежности системы отправки и выполнения подзадач, есть риск потери данных, а также некорректного исполнения задачи.

Еще один вид задач – это задача, распределенная во времени. В программном обеспечении очень накладно делать такие задачи синхронными (пользователь ожидает полного выполнения задачи, блокируя свой собственный поток исполнения), поэтому такие задачи делают асинхронными (пользователь регистрирует задачу и продолжает выполнять другие свои задачи, а потом получает уведомление о выполнении зарегистрированной задачи). Задачи, распределенные во времени, также имеют точки отказа, которые включают в себя риск неполного исполнения задачи или полной потери данных.

Рассмотрим виды задач, которые могут исполняться распределенными вычислительными системами, для исполнения которых нужен распределенный планировщик заданий.

Ресурсоемкие задачи. Это задачи, которые требуют больших и длительных вычислений, или для решения задачи требуется интеграция с несколькими подсистемами, что в свою очередь увеличивает длительность выполнения такой задачи.

Если использовать требования к программному обеспечению, описанные выше, то выполнение данной задачи без каких-либо доработок уже будет нарушать требования заказчика – требование к быстродействию системы. Для соответствия данному требованию необходимо перевести задачу из синхронного взаимодействия с пользователем в асинхронное. В рамках

перехода на асинхронный формат взаимодействия с пользователем необходимо будет сделать систему регистрации заданий. То есть пользователь регистрирует задание, но не получает сразу результат выполнения, а получает идентификатор задания, по которому он позже сможет получить результат.

Задачи, выполнение которых нужно отложить во времени. Данный тип задач очень специфичен для программного обеспечения, но имеет место быть. В качестве примера можно привести такие задачи, как запланированное создание бэкапов, отслеживание статуса выполнения другой задачи и т.д.

На текущий момент реализовать планирование задач можно используя такие способы:

1. Использование планировщика задач из операционной системы.

Планировщик задач операционной системы – это программа (служба или демон), часто называемая сервисом операционной системы, которая запускает другие программы в зависимости от различных критериев, как, например:

- наступление определенного времени;
- переход операционной системы в определенное состояние (бездействие, спящий режим и т.д.);
- поступление запроса от администратора через пользовательский интерфейс или через инструменты удаленного администрирования.

Вычислительная система во время своей работы может обратиться к сервису планировщика задач операционной системы и зарегистрировать задание, указав необходимые критерии выполнения. Плюсами данного подхода к планированию задач являются:

- использование стандартного планировщика задач, что увеличивает переиспользование компонентов и уменьшает дублирование функций;
- более эффективная работа, так как системный планировщик работает в процессе операционной системы, а не конкретного приложения.

Из минусов такого подхода можно выделить:

- заявка программного обеспечения на конкретную операционную систему. Этот минус можно решить, используя общие интерфейсы для работы с планировщиком задач, но в общем случае будет заявка к операционной системе;

- в распределенных системах системный планировщик будет у каждого узла в отдельности, то есть синхронизироваться задания не будут.

Таким образом, системный планировщик рекомендуется использовать для таких вычислительных систем, где не требуется синхронизация заданий между узлами.

2. Использование возможностей технологий разработки.

Большинство языков программирования предоставляют «из коробки» методы для создания запланированной задачи. В случае, когда решений языка программирования недостаточно, то на помощь приходят фреймворки. Для примера возьмем язык программирования Java. В нем есть метод для периодического выполнения задач – `ScheduledExecutorService`. Благодаря этому сервису можно запускать периодически повторяемые задачи в отдельном потоке. Также, например со стороны фреймворка Spring, предоставляется возможность планировать задачи с помощью аннотации `@Scheduled`.

Плюсы использования данного способа при реализации планирования задач:

- удобство использования внутри приложения. В большинстве языков и фреймворков создание запланированной задачи занимает не более нескольких строк кода.

Минусы такого способа:

- в распределенных системах такой планировщик будет у каждого узла в отдельности, то есть синхронизироваться задания не будут.

3. Реализация собственного планировщика задач.

Вариантов реализации собственной системы планирования задач множество, но в данном контексте мы рассмотрим самый распространенный вариант создания планировщика заданий, который будет поддерживать распределенные системы – это планировщик заданий на основе `polling-strategy` с сохранением заданий в базу данных.

В основе такого планировщика лежит сервис, который принимает запрос на создание запланированного задания, создает его уникальный номер, сериализует параметры, вычисляет время его выполнения и сохраняет в базу данных. После этого каждый узел, подключенный к этой базе данных через определенный интервал времени, делает запрос в базу данных и получает задания, у которых пришло время выполнения и забирает эти задания на обработку.

Плюсами данного способа являются:

- возможность работать в распределенных вычислительных системах.

К минусам метода можно отнести:

- необходимость разворачивать и настраивать базу данных;

- при работе нескольких узлов необходимо корректно работать с транзакциями базе данных;

- при отказе базы данных – весь планировщик заданий перестанет работать [2].

Таким образом, мы рассмотрели три способа создания планировщика заданий. Каждый из способов имеет свои плюсы и минусы и область применения. Так как целью исследования является распределенное планирование задач, поэтому был выбран вариант с разработкой архитектуры собственного планировщика задач.

Для хранения данных необходимо выбрать распределенную, отказоустойчивую систему хранения. Это может быть как база данных с поддержкой распределенного размещения, так и система обмена сообщениями. В архитектуре хранения данных о запланированных задачах было не в базе данных, а в распределенной системе обмена сообщениями. В качестве системы была выбрана система Apache Kafka, разработанная компанией LinkedIn, сейчас платформа развивается и поддерживается как открытый проект в рамках фонда Apache Software Foundation [1].

Кратко архитектуру Apache Kafka можно охарактеризовать следующим образом:

- распределенность – отдельные узлы системы располагаются на нескольких аппаратных платформах (кластерах). Это обеспечивает ей высокую отказоустойчивость;

- масштабируемость – систему можно наращивать за счет простого добавления новых узлов (брокеров сообщений).

Для начала разберемся с терминологией, которая применяется в описании Kafka:

- продюсер – приложение или процесс, генерирующий и посылающий данные;

- потребитель – приложение или процесс, который принимает сгенерированное продюсером сообщение;

- сообщение – пакет данных, необходимый для совершения какой-либо операции;

- брокер – узел передачи сообщения от процесса-продюсера приложению-потребителю;

- топик – виртуальное хранилище сообщений одинакового или похожего содержания, из которого приложение-потребитель извлекает необходимую ему информацию.

Верхнеуровнево работа с Kafka построена таким образом:

- приложение-продюсер создает сообщение и отправляет его на узел Kafka;

- брокер сохраняет сообщение в топике, на который подписаны приложения-потребители;

- потребитель при необходимости делает запрос в топик и получает из него нужные данные.

С инфраструктурной точки зрения (рис. 1) приложение размещается в кластере и запускается в нескольких экземплярах, где каждый экземпляр может как планировать задания, так и выполнять запланированные задачи. Благодаря отправке всех сведений о запланированном задании в кластер Kafka получаем единое распределенное хранилище заданий.

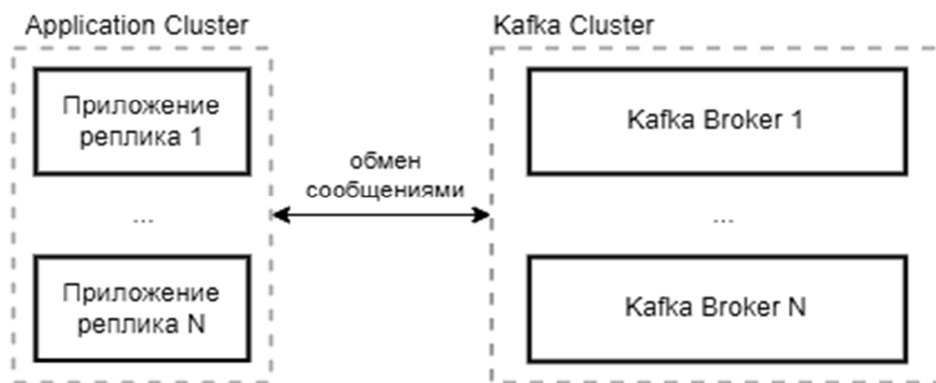


Рис. 1. Инфраструктурное представление архитектуры распределенного планировщика заданий



Рис. 2. Работа приложений с распределенным хранилищем сообщений

Каждая реплика приложения начинает слушать очередь сообщений с помощью Kafka Consumer (рис. 2), из которой будут поступать сообщения, содержащие информацию о запланированных заданиях. При поступлении задания на выполнение, приложение начинает транзакцию, в ходе которой производится выполнение бизнес-логики запланированного задания и после успешного выполнения завершает транзакцию с помощью специального сигнала «Acknowledge», который примет кластер Kafka и пометит сообщение с информацией о запланированном задании как прочитанное.

В обратном случае, то есть в случае планирования задания, приложение формирует сообщение с информацией о задании по заранее заданной схеме и отправляет его в кластер Kafka. При попадании сообщения в Kafka оно автоматически попадет в топик и будет доступно для получения одним из приложений кластера, которые слушают этот топик с помощью Kafka Consumer [3].

Теперь рассмотрим негативные сценарии, которые будут корректно обработаны данным планировщиком заданий:

1. Ошибка исполнения запланированного задания. В самой базовой реализации, транзакция не сможет завершиться корректно и будет получена ошибка.

В свою очередь Kafka Cluster не получит специальный сигнал «Acknowledge» и передаст сообщение еще раз, это приведет к повторной попытке исполнения задания.

2. Отключение всей реплики приложения во время выполнения задания. В этом случае кластер Kafka через определенный интервал не получит успешную проверку готовности принимать сообщения от отключенной реплики приложения и удалит это приложение из consumer-группы, которая является балансировщиком сообщений между репликами. Затем будет произведено перераспределение сообщений, предназначенных для отключенного приложения между другими приложениями в кластере.

3. Самый негативный сценарий – падение всего Kafka Cluster. Вероятность возникновения данного события крайне мала, если инфраструктура геораспределена и узлы Kafka независимы друг от друга. Но все же если будет отключен весь кластер Kafka, то планирование и выполнение задач будет остановлено.

Таким образом, в рамках этой статьи был проведен аналитический обзор существующих планировщиков заданий, была предложена собственная архитектура распределенного планировщика заданий, которая основана на распределенной системе обмена сообщениями Apache Kafka. В рамках аналитического обзора были выделены варианты реализации планировщика заданий в современной разработке, а также описаны их достоинства

и недостатки. В ходе разработки архитектуры было сделано небольшое теоретическое введение в Apache Kafka, рассмотрена схема взаимодействия на уровне инфраструктуры и на уровне приложения, а также негативные сценарии и реакция распределенного планировщика заданий на них.

Литература

1. Use Cases of Apache Kafka // Apache Kafka. – URL: kafka.apache.org/uses (дата обращения: 01.12.2022). – Text : Electronic.
2. Task Execution and Scheduling // Spring Docs. – URL: docs.spring.io/spring-framework/docs/3.1.x/spring-framework-reference/html/scheduling.html (дата обращения: 01.12.2022). – Text : Electronic.
3. Apache Kafka Architecture: A Complete Guide // Instaclustr. – URL: www.instaclustr.com/blog/apache-kafka-architecture (дата обращения: 01.12.2022). – Text : Electronic.

I.A. Pritychenko, A.A. Sukonshchikov
Vologda State University

ARCHITECTURE OF DISTRIBUTED TASK SCHEDULER

This article provides an analytical review of the existing options for task scheduling in computing systems. The analysis highlights the advantages and disadvantages of each option. The article proposes own distributed task scheduler architecture, which is based on the Apache Kafka distributed messaging system.

Task scheduling, messaging system, Apache Kafka.

УДК 681.7.068



В.Ф. Булавин, Т.Г. Булавина
Вологодский государственный университет

ЦИФРОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАЛЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Производство кастомизированных изделий современного дизайна с эргономическими качествами, а также создание наукоемких отраслей в промышленности приводят к выпуску глобально конкурентоспособной продукции. Новые тренды сопровождаются интеллектуализацией технологических процессов и соединением материальных и виртуальных процессов производства. Интеллектуальная бизнес-модель предполагает принятие эффективных решений и способность к ускоренной адаптации в изменяющихся условиях.

Технологическое сопровождение производства, информационное пространство, малые предприятия, 3D-прототип, цифровое сопровождение.

Для существующего технологического уровня требуется интеграция малых машиностроительных предприятий в цифровое поле виртуальных фабрик на основе стратегии перехода к цифровому производству в рамках инициативы «Технет» [1, 2].

Цифровое проектирование включает конструкторско-технологическую подготовку производства (КТПП) и инженерные расчеты деталей и элементов изделий по тепловым воздействиям, прочностным факторам, а также оптимизационные вопросы [3–7]. В ходе КТПП уточняются компоновка и кинематика, состав изделия и общая конфигурация конструкции при соблюдении требований унификации и предельного наполнения его стандартными комплектующими. Здесь задаются свойства материалов и прогнозируются энергетические показатели проектируемого механизма.

Содержанием цифровой КТПП являются: проектирование в 3D-стандарте, автоматизированное технологическое сопровождение и имитационное моделирование [3–7].

Автоматизированное проектирование базируется на классификации и кодировании деталей и связано с поиском их аналогов в банках данных типовых компонентов, либо в реализованных ранее проектах, с использованием методов синтеза и адресации. Технологии 3D предполагают оформление электронных моделей изделий (ЭМИ) согласно ГОСТ 2.052-2015, а также цифровых образов деталей, сборочных единиц (ДСЕ) и конструкции [3–7]. Реализация стратегии проектирования – «сверху-вниз», «снизу-вверх» или др. – определяется целесообразностью и является прерогативой конструктора-разработчика. Формирование в 2D-формате рабочих чертежей деталей и спецификаций сборок осуществляется в САД-платформе автоматически. На рисунке 1 представлен электронный прототип изделия «3-D принтер» аддитивных технологий, выполненного в платформе «Компас-3D».

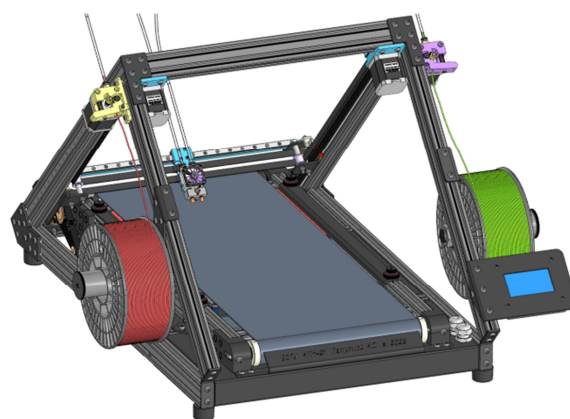


Рис. 1. Конвейерный принтер

Достижение эффекта фотореалистичности при визуализации ДСЕ или изделия выполняется посредством цветовой гаммы, с использованием оптических свойств и различных текстур [3–7]. Конструкторская документация дополняется электронным каталогом готового изделия. Электронные сборки позволяют выявить на этапе проектирования ошибки при сборке и возможные коллизии. Анимация предполагает проверку на соударения и исследование кинематики механизма с учетом сопряжений в узлах.

Параметрическое представление ЭМИ содержит информацию о связях и ограничениях, позволяет получить сведения о характеристиках объекта, что позволяет определить правила поведения геометрии форм при их изменении [3–7]. Параметризация определяет возможности управления изменениями и быстрого перестроения объекта, что обеспечивает разнообразие в формообразовании для моделей сходных изделий на основе единой созданной цифровой двойника.

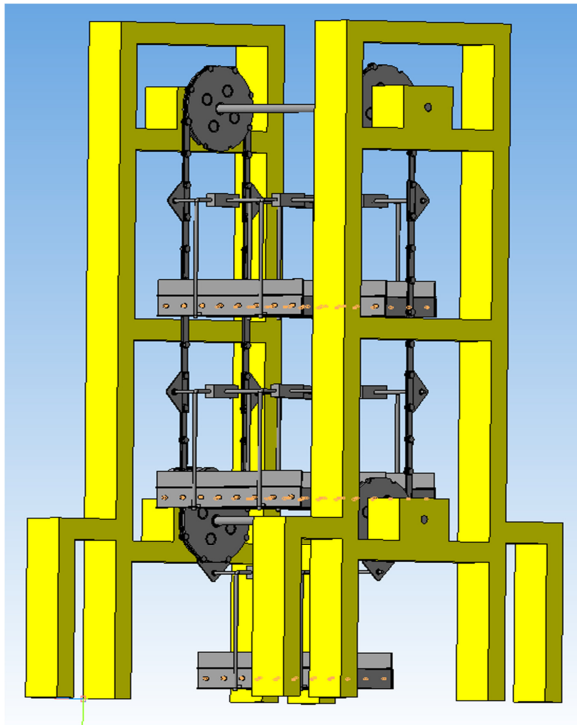


Рис. 2. Линия с роликовыми транспортерами и карусельным механизмом

На рисунке 2 представлен цифровой прототип линии с роликовыми транспортерами и карусельным механизмом для малых предприятий строительного профиля. Опция – деталь с исполнениями, опирается на технологию параметризации и реализует принцип «одна модель – много разнообразий», и базируется на большом числе вспомогательных переменных (предельных отклонений, параметров операций, пользовательских и т.д.). У различных исполнений детали – одинаковая геометрия, но разные размеры, которые устанавливаются с помощью аргументов. Эта опция поддерживается оформлением требуемой документации на ДСЕ.

Значительное сокращение трудозатрат и сроков выполнения проектов позволяет работу с приложениями в случае, когда проектирования осуществляется помощью средств объектного моделирования, а при разработке конструкции из сходных модулей – средствами зеркального отражения.

Интеллектуализация управления производством. Завершение конструкторского раздела сопровождается автоматическим контролем технической документации посредством экспертного модуля «Компас-Эксперт», в чьи функции входит поиск пропусков и неточностей в оформлении ЭМИ и 2D-чертежей. Передача информации о проекте КТПП и продолжение бизнес-процесса осуществляется через инструментальное обеспечение и сетевое взаимодействие в систему PDM/MES (PLM/ERP). Эти стратегии интегрируют все инженерные данные через информационное пространство системы управления производством в единый поток данных.

Организационно-инструментальная система PDM обеспечивает управленческие подразделения информацией о номенклатуре продуктов предприятия, взаимодействии подразделений и доступ ко всем циклам изготовления/разработки. В главные функции PDM входят контроль и управление:

- документацией САПР и архивацией;
- номенклатурой продуктов;
- клиентскими заказами и логистикой;
- инженерными решениями, графическими объектами и т.д.

Оперативно-календарная система MES выступает в качестве диспетчеризации, внутрицехового планирования, регулятора для учета и контроля межоперационных заделов. Таким образом, она фокусируется на вопросах координации производства в режиме реального времени. Опирируя актуальными данными о производственных процессах, MES дает возможность корректировать производственные задания и информацию неоднократно за рабочую смену [3–7].

MES-платформы ориентированы на контроль и управление мелкосерийного, единичного и позаказного производства. Для серийного и массового производства планирование ведется на уровне ERP. MES выступает как связующее звено между управлением технологическими процессами и ERP.

Системы сопровождения жизненным циклом (PLM) обеспечивают более комплексный функционал и предоставляют дополнительные, помимо опций управления проектированием и изготовлением изделий, модули контроля: персоналом, финансами и др. Концепция PDM рассматривается при этом как система нижнего уровня. В верхний уровень (PLM) входят блоки:

- взаимодействия и интеграции различных систем в единое информационное пространство;
- проектирования и планирования создания продуктов;
- информационного, технического и эксплуатационного обеспечения;
- исследования рынков;
- закупки комплектующих и входного/выходного контроля;
- упаковки, продаж и утилизации, хранения;
- транзакционные операции.

Использование PLM-/ERP-систем актуально для предприятий с большой степенью кооперации и с территориально удаленными подразделениями. Цель – выстраивание логистики сотрудничества, масштабирование решений и уменьшение затрат при объединении сходных вопросов в единый пакет. Функционал PLM/ERP отслеживает как единичные экземпляры продукции, так и учитывает индивидуальные потребности. ERP нацелены на выполнение заказов при средне- и долгосрочном планировании. PLM координирует взаимодействия структурных подразделений и механизмы согласований, извещений и утверждений. В функции ERP входят функции стандарта MRP II, моделирования финансов, модули планирования и маркетингового обеспечения, управления производством и потребностями, ресурсами и поставками. Специализированные модули ориентированы на конкретный бизнес-процесс или отдельные сферы деятельности [3–7].

Использование высокотехнологичных программных платформ характеризует тенденцию к созданию производств с цифровым отображением и сопровождением. Это приводит к росту производительности труда и повышению потребительских свойств товаров и услуг. Проникновение цифровых технологий в деятельность

малых машиностроительных предприятий находит отражение во внедрении и активном использовании CAD-/CAPP-/CAM-/CAE-/CAO-, PDM-/MES-платформ. Новые технологические вызовы определяют направление в развитии производства и приводят к ускоренному проектированию и выпуску новых видов продукции. Усиление цифрового сопровождения позволяет проектировать оборудование и механизмы, отличающихся пониженными значениями энергоемкости и материалоемкости, с высокими эргономическими показателями.

Литература

1. Боровков, А. О дорожной карте «Технет» (переходные производственные технологии) национальной технологической инициативы / А. Боровков, Ю. Рябов // Двигатели для гражданской авиации. – 2017. – № 10. – С. 8–11. – URL: assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/04_april/13/Korporativnyy_jurnal_Tramplin_k_uspehu_10_2017_O_Technet_Nti.pdf (дата обращения: 01.12.2022). – Текст : электронный.

2. Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии // Рабочий доклад Департамента корпоративного обучения Московской школы управления «Сколково», ноябрь 2017. – URL: assets.fea.ru (дата обращения: 6.11. 2019). – Текст : электронный.

3. Цифровая трансформация технологического сопровождения производства в малых предприятиях / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, Д. В. Кошутин [и др.]. – DOI: 10.18698/0536-1044-2021-9-15-29 // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2021. – № 9. – С. 15–29.

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. Цифровой формат подготовки приборостроительного производства. Часть I. Конструкторский этап / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев, А. С. Степанов. – DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-3-157-166 // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – № 3. – С. 1–8.

6. 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.

7. Digital Support of Production Small Business Preparation in Engineering / V. F. Bulavin, T. G. Bulavina, A. S. Stepanov [et al] // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1399. – P. 033045.

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

DIGITAL DESIGN IN SMALL MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

The production of customized products of modern design with ergonomic qualities, as well as the creation of knowledge-intensive industries in industry lead to the production of globally competitive products. New trends are accompanied by the intellectualization of technological processes and the combination of material and virtual production processes. An intelligent business model assumes effective decision-making and the ability to adapt rapidly in changing conditions.

Technological support of production, information space, small enterprises, 3D prototype, digital support.



*С.С. Козлов, Н.С. Григорьев,
А.С. Степанов, В.Ф. Булавин,
В.В. Яхричев
Вологодский
государственный
университет*

ПРОЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ОХЛАЖДАЮЩЕГО ТУННЕЛЬНОГО КОНВЕЙЕРА СРЕДСТВАМИ SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

В статье изложена методика автоматизированного проектирования многосекционных охлаждающих туннельных установок для предприятий пищевой промышленности с непрерывной конвейерной подачей продукции. Создание конструктивных 3D-моделей установки проведено средствами программного комплекса SolidWorks и Компас-3D. Для созданной конструкции охлаждающей туннельной установки с помощью модуля SolidWorks Flow Simulation смоделированы тепловые потоки и решена задача рационального размещения блоков охлаждения с испарителями и вентиляторами для равномерного распределения температурных полей и потоков воздуха по занятому продукцией объему. Определены необходимые скоростные характеристики работы конвейера для обеспечения заданных параметров охлаждения кондитерской продукции на примере зефира.

Автоматизированное проектирование в машиностроении, охлаждающие конвейеры, расчеты в SolidWorks Flow Simulation, моделирование температурных полей.

Задача автоматизации процессов разработки современного технологического оборудования для предприятий пищевой промышленности в условиях импортозамещения становится все более актуальной. Для получения качественных конструктивных решений необходимо использовать современные программные средства автоматизированного проектирования и инженерного анализа. При проектировании многосекционных ленточных туннельных конвейерных установок для получения качественного охлаждения, сохранения глянца на поверхности и вкусовых ощущений кондитерского продукта (зефира) важно обеспечить высокую точность поддержания заданных температурных полей по всему объему охлаждаемых изделий и скоростных характеристик движения ленты.

Создание конструктивных 3D-моделей линии охлаждения кондитерских изделий, состоящей из натяжной и приводной секций, пяти секций охлаждения, ленточного конвейера, осуществлялось средствами программного комплекса SolidWorks и Компас-3D (рис. 1).

Общая длина линии составляет 14,332 м. Длина одной секции охлаждения 2,5 м. Каждая секция охлаждения представляет собой вытянутый шкаф с габаритами 2,5×1,6×0,9 метра, двумя встроенными блоками охлаждения. Блок охлаждения приведен на рисунке 2. Каждый блок включает в себя испаритель (радиатор), по которому циркулирует Хладон, и 3 вентилятора. Каждая секция оснащена одним хладоагрегатом и двумя испарителями с блоками вентиляторов.

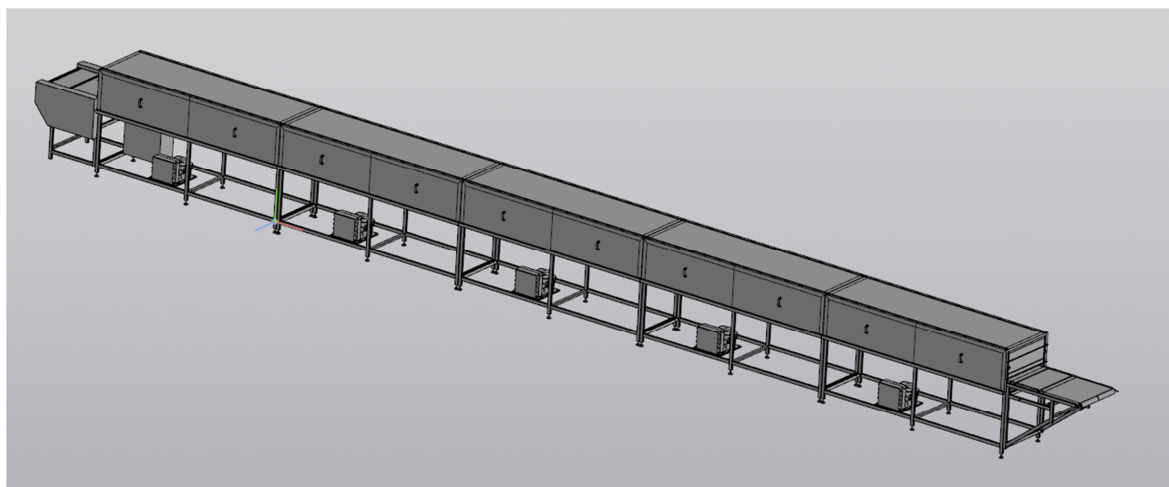


Рис. 1. 3D-модель пятисекционной линии охлаждения

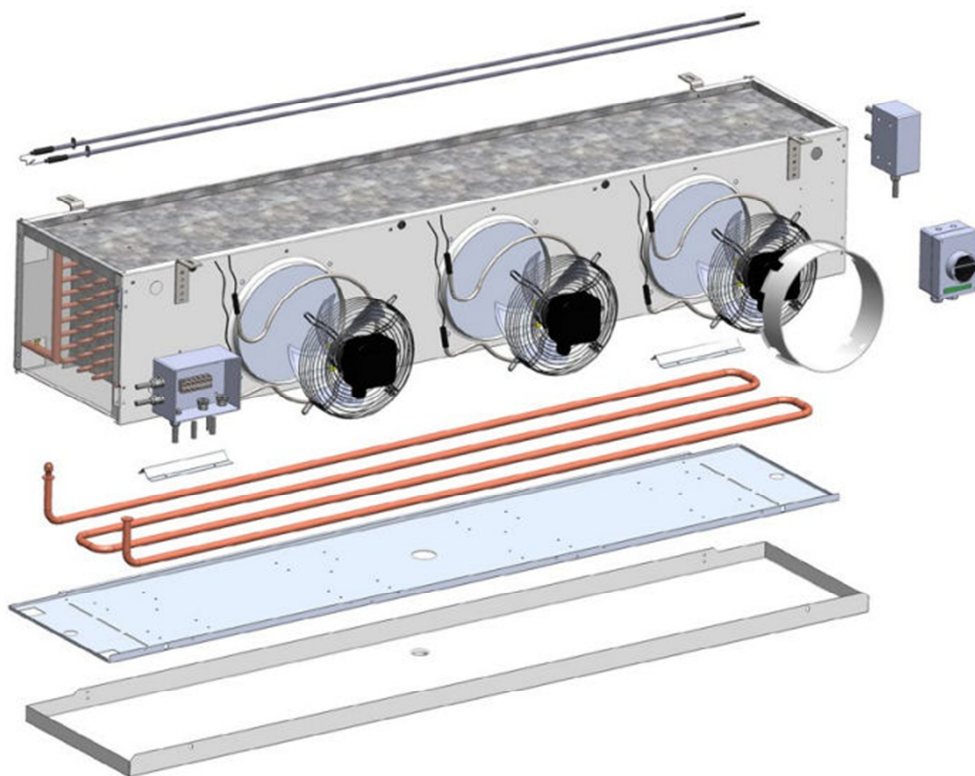


Рис. 2. Блок охлаждения

С помощью модуля SolidWorks Flow Simulation смоделируем тепловые потоки для решения задачи рационального размещения блоков охлаждения с испарителями и вентиляторами для равномерного распределения температурных полей и потоков воздуха по заданному объему продукции. Используемый модуль SolidWorks Flow Simulation предназначен для анализа сплошных сред в задачах динамики, теплообмена, построения полей течения жидкостей и газов на основе метода конечных элементов.

Анализ проводился в рамках одной секции охлаждения, поскольку все 5 секций охлаждения идентичны друг другу и происходящие в них процессы идентичны. Воздушный вентилятор охлаждения, посредством специального программного блока для анализа потоков воздуха, расчета температурного режима и систем климат-контроля, интегрированного в модуль SolidWorks Flow Simulation, заменен эквивалентной плоскостью и имитирует его работу. Подробности расчета вентилятора изложены в [1].

Процесс охлаждения осуществляется по следующему циклу. На конвейерную ленту выкладываются продукты охлаждения, в нашем случае продуктом охлаждения выступает зефир. Конвейерная лента транспортирует продукты через 5 секций охлаждения, в которых температура тел должна снизиться с 40 до 5 °С. Охлаждение происходит посредством обдува тел охлажденным воздухом, который циркулирует в камере по следующему принципу:

1. Воздух движется в зону пониженного давления, создаваемую вентиляторами позади испарителя (радиатора).

2. Воздух проходит сквозь радиатор, имеющий температуру приблизительно 3 °С и производится его охлаждение.

3. Охлажденный воздух «выбрасывается» вентиляторами в рабочую область секции охлаждения, где происходит теплообмен воздуха и тел охлаждения, понижая тем самым температуру последних.

4. Нагретый телами воздух начинает подниматься вверх и возвращаться к области пониженного давления, уходя на повторный цикл.

Расчет и моделирование процесса охлаждения продукции производится в SolidWorks Flow Simulation [2, 3]. Из расчетной схемы сборки исключены приводная и натяжная секции конвейера, а также четыре из пяти охлаждения. Часть конвейерной ленты, выступающая за пределы предполагаемой расчетной области, обрезана. Для обеспечения удобной работы с внутренней частью секции охлаждения боковые дверцы визуально скрыты, позволяя тем самым наблюдать и работать с внутренней частью секции, не исключая при этом твердые тела из расчета. В качестве охлаждающих элементов выступают модели двух блоков охлаждения, размещенных над конвейерной лентой в секции.

Задание граничных условий

Для оптимизации машинного времени расчетов была определена объемная область, на 4–5 % превышающая габариты камеры охлаждения и имеющая размеры 2,6×1,8×1,1 м (рис. 3). Для создания самого расчета применялся инструмент «Мастер проекта», позволяющий задать начальные параметры. В ходе использования данного инструмента были заданы следующие параметры:

1. Тип задачи – внешняя.
2. Используемые физические модели:
 - а. Теплопроводность в твердых телах;
 - б. Нестационарность;

- c. Общее время задачи – 23 с;
 - d. Временной шаг выдачи результатов – 0,5 с;
 - e. Гравитация – $-9,81 \text{ м/с}^2$ по оси Y.
3. Текучая среда – Air (газы).
 4. Материал по умолчанию – Stainless Steel 302 (Российский аналог – 12Х18Н9).
 5. Параметр шероховатости – 12,5 Ra.
 6. Давление – 101325 Па.
 7. Температура окружающего воздуха – 18 °С.
 8. Начальная температура твердых тел – 18 °С.

Охлаждаемая продукция представлена моделями прямоугольной формы, с габаритами 20×20×100 мм, равномерно распределенные массивом по всей длине конвейерной ленты в количестве 24 штуки.

В созданном проекте с помощью инструментов «Материалы», «Граничные условия», «Тепловые источники» и «Начальные условия» задаются параметры, оказывающие значительное влияние на адекватность модели термодинамического процесса.

В разделе «Материалы» конвейерной ленте присвоен материал – полиуретан, также создан пользовательский материал в качестве продукта охлаждения – зефира. Параметры продуктов охлаждения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики материала «Зефир»

Наименование параметра	Значение
Плотность	470 кг/м ³
Удельная теплоемкость	2930 Дж/(кг·К)
Тип проводимости	Изотропная
Коэффициент теплопроводности	0,35 Вт/(м·К)
Электропроводность	Диэлектрик
Радиационные свойства	нет

В разделе «Граничные условия» поверхностям, имитирующим работу вентиляторов, заданы: условия объемного расхода на входе, составляющие 118 м³/ч, температура воздушного потока на выходе составляет 3 °С. Для тел, имитирующих охлаждаемые тела, со-

здан параметр реальной стенки, включающий в себя следующие параметры:

1. Температура стенки – 40 °С.
2. Коэффициент теплоотдачи стенки – 15,6 Вт/(м²·К) [1].
3. Температура текучей среды – 3 °С.
4. Шероховатость – 12,5 Ra.

Готовая модель с расположением охлаждаемых тел, блоков вентиляторов и расчетной областью показана на рисунке 3.

Задание целей расчета

Во вкладке «Цели» необходимо задать ряд анализируемых нами параметров, которые среда SolidWorks Flow будет обчислять. В расчет установлены следующие цели:

Глобальные:

1. Температура текучей среды.
2. Полная температура.
3. Температура стенки.
4. Плотность теплового потока.
5. Конвективный тепловой поток.
6. Температура твердого тела.

Объемные:

1. Температура твердого тела.

Расчеты и предварительный анализ в SolidWorks Flow Simulation проводился для интервала в 23 физических секунды с шагом 0,5 секунду.

Первый интересующий нас параметр в данном расчете – это объемный параметр температуры. В подразделе «Объемные параметры» была рассмотрена таблица, представляющая эволюцию температуры во времени. Для наглядности данные представлены в виде графика на рисунке 4.

Расчет на малом интервале времени показал функцию охлаждения, близкую к линейной. За 23 секунды тела охладились в среднем до температуры 38,11 °С. В среднем за 1 физическую секунду тела охлаждаются на 0,09 °С.

Другим важным моментом является рациональное размещение блоков охлаждения в секции для обеспечения равномерности воздушных потоков. Визуализация результатов расчета представлена на рисунке 5.

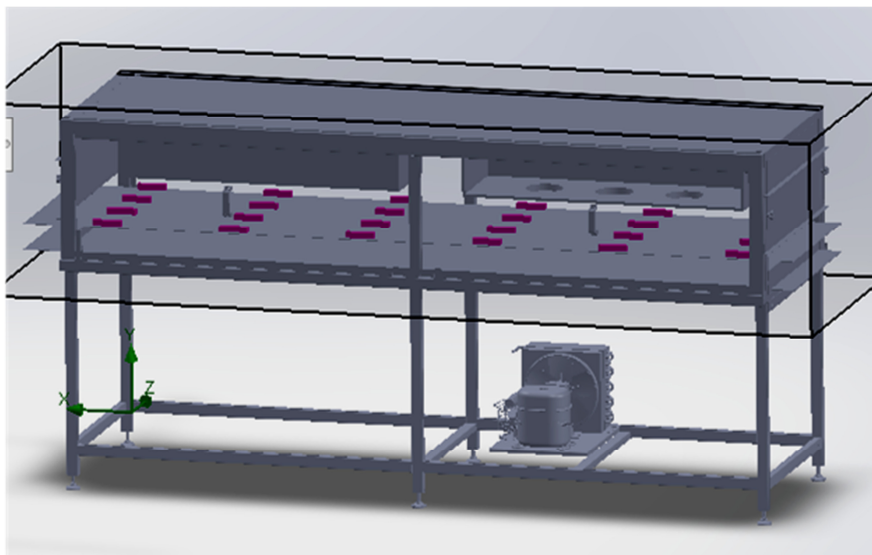


Рис. 3. Модель для расчета

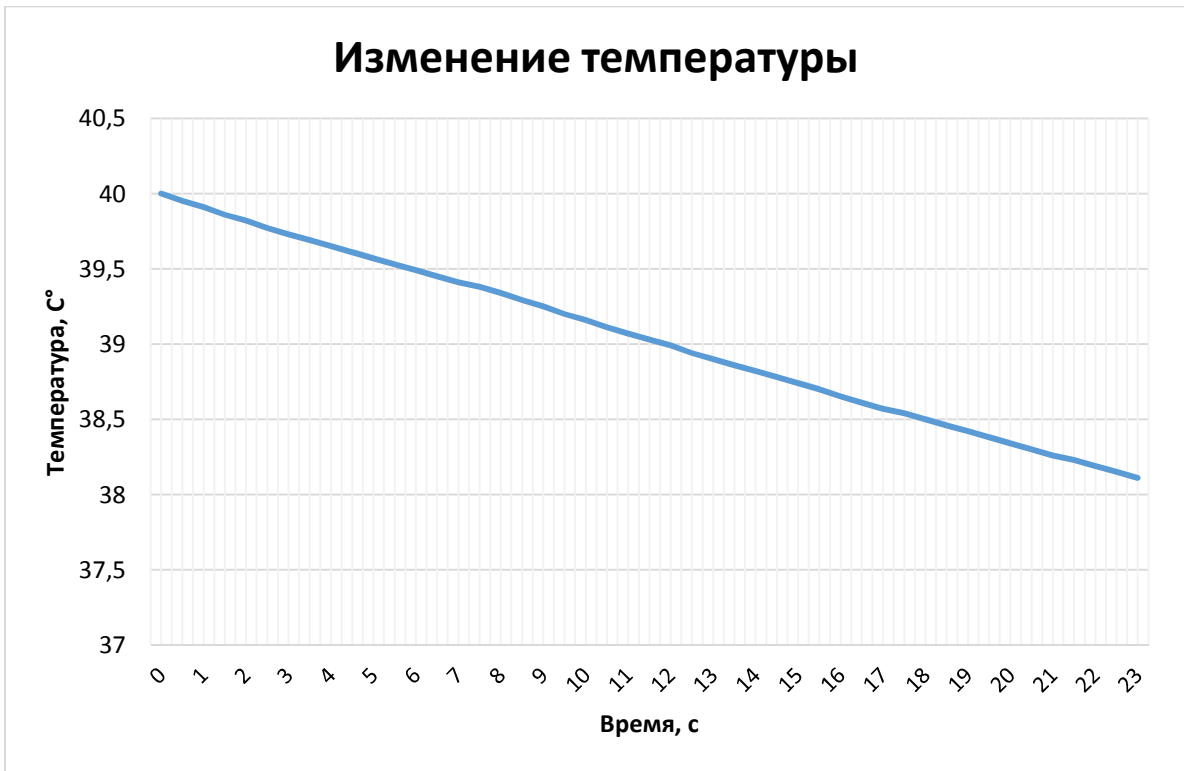


Рис. 4. Зависимость температуры от времени

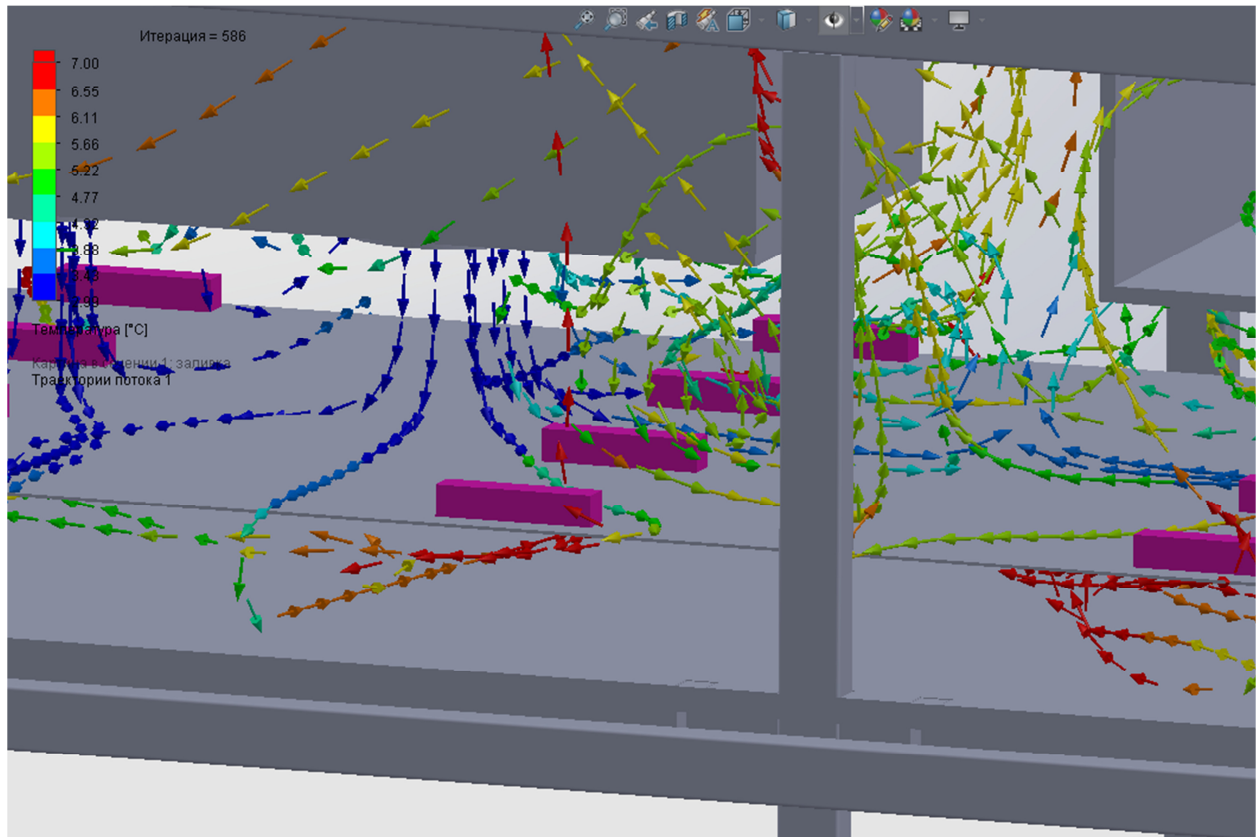


Рис. 5. Распределение воздушных потоков в секции охлаждения

Расчет по закону Ньютона – Рихмана

Исходные данные		Обозначения	Значения	Ед. изм.
1	Коэффициент теплоотдачи на границе поверхность тела – среда	$\alpha=$	15,6	Вт/(м ² ·К)
2	Температура окружающей среды (const)	$t_c=$	3	°С
3	Температура тела начальная	$t_1=$	40	°С
4	Температура тела конечная	$t_2=$	38	°С
5	Коэффициент теплопроводности тела	$\lambda=$	0,35	Вт/(м·К)
6	Коэффициент температуропроводности тела	$a=$	103600	м ² /с
7	Плотность тела	$\rho=$	470	кг/м ³
8	Удельная теплоемкость тела	$c=$	2930	Дж/(кг·К)
9	Форма тела	Параллелепипед		
10	Размеры тела	$H=$	0,02	м
11		$L=$	0,1	м
12		$B=$	0,02	м
Результаты расчетов		Обозначения	Значения	Ед.изм.
13	Площадь поверхности тела	$F=$	0,0088	м ²
14	Объем тела	$V=$	0,00004	м ³
15	Масса тела	$G=$	0,0188	кг
16	Площадь формы тела с учетом поправочного коэффициента	$K=$	0,01987	м ²
17	Темп нагрева (охлаждения) однородного тела при $\alpha \rightarrow \infty$	$m_\infty=$	5215000000	1/с
18	Модифицированное число Био	$Bi=$	0,1948	-
19	Отношение среднего температурного напора по поверхности к среднему температурному напору по объему	$\Psi=$	0,8709	-
20	Относительный темп нагрева (охлаждения)	$M=$	01697	-
21	Расчетный темп нагрева (охлаждения) однородного тела	$m_{a\lambda}=$	884700000	1/с
22		$m_{cp}=$	0,00217	
23		$\Delta=$	4076000000000	
24	Время нагрева (охлаждения) без учета формы тела по закону охлаждения Ньютона – Рихмана	$t_N=$	22,3	с
			0,3716	мин.
			0,006194	ч
			0,0002581	сут.

Давление внутри охлаждающей секции составило в среднем 101338 Па (нормальное атмосферное давление 101325 Па), а скорость потоков не превысила 0,5 м/с, что исключило риски «сдувания» продуктов охлаждения с рабочей поверхности конвейера.

Для проверки адекватности построенной модели воспользуемся сравнительным методом. В качестве альтернативы будем применять алгоритм, предполагающий проведение расчета по формулам классической термодинамики, основанный на законе Ньютона – Рихмана и на теоретических и практических исследованиях советских ученых Г.М. Кондратьева и М.А. Михеева [4, 5]. Расчеты выполнены с помощью EXEL и их результаты

представлены в таблице 2. Исходные данные для расчета соответствуют данным анализа в SolidWorks Flow Simulation за исключением того, что в данном расчете итоговая температура является исходным параметром, а время – вычисляемым. Т.к. нам известна температура тела за период охлаждения в 23 секунды и известна тенденция к охлаждению, мы можем сравнить расхождение по времени.

Нам известно, что за 23 секунды тело охлаждается до 38 °С. По данным расчета методом Ньютона – Рихмана время составляет 22,3 секунды.

Расхождение результатов составило 0,7 секунды или 3 %, что в рамках допустимой погрешности. Из

чего можно заключить, что составленная модель адекватна и наглядно представляет процесс охлаждения.

Согласно исходным параметрам, температура нагреваемых тел на входе составляет 40 °С, а на выходе должна составлять 5 °С. Длина рабочей части охлаждающего конвейера составляет 12,5 м. За одну секунду тело охлаждается на 0,09 °С, следовательно охлаждение с 40 до 5 °С займет $35/0,09 = 388,8$ с. Из этого выходит, что рекомендуемая скорость движения конвейерной ленты составляет $12,5/388,8 = 0,032$ м/с.

Из полученных данных определим расчетную производительность. В рассмотренном случае тела расположены по 4 в ряд с расстоянием в 350 мм между рядами. По найденной скорости движения конвейера вычислим время, за которое один ряд пройдет расстояние в 350 мм: $0,35/0,032 = 10,9$ с. За 60 секунд 5,5 рядов выйдут из установки охлажденными. За час – 330 рядов. Зная, что в ряду 4 тела, получим охлажденными 1320 единиц продукции. Поскольку нам известна масса одного из них (0,04 кг), следует, что производительность этой установки – 52,8 кг/ч. Для увеличения производительности следует укладывать продукцию более плотно.

Литература

1. Кудрин, Н. А. Оптимизация конструкции крыльчатки вентилятора в соответствии с требовани-

ями производительности / Н. А. Кудрин, Н. С. Григорьев // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 4 (14). – С. 50–53.

2. Анализ внешнего потока в SolidWorks Flow Simulation – Блог компании DassaultSystèmes. Анализ и проектирование CAD/CAM систем. – URL: habr.com/ru/company/ds/blog/565708/ (дата обращения: 03.11.2022). – Текст : электронный.

3. Алямовский, А. А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации / А. А. Алямовский. – Москва : ДМК-Пресс, 2015. – 562 с.

4. Бормасов, Н. А. Исследование процессов теплообмена при изготовлении объектов с гуммированным покрытием / Н. А. Бормасов, А. Ю. Белянина, Т. А. Кочкорева // Вестник Вологодского государственного университета. – 2022. – № 2 (16). – С. 51–56.

5. Стоянов, Н. И. Теоретические основы теплотехники: техническая термодинамика и теплообмен : учебное пособие / Н. И. Стоянов, С. С. Смирнов, А. В. Смирнова ; Северо-Кавказский федеральный университет. – Ставрополь : Северо-Кавказский Федеральный университет (СКФУ), 2014. – 225 с. – URL: biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457750 (дата обращения: 02.11.2022). – Текст : электронный.

S.S. Kozlov, S.N. Grigoriev, A.S. Stepanov, V.F. Bulavin, V.V. Yakhrichev
Vologda State University

DESIGN SIMULATION OF COOLING TUNNEL CONVEYOR OPERATION BY MEANS OF SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

The article describes the methodology of computer-aided design of multi-section cooling tunnel installations for food industry enterprises with continuous conveyor feeding of products. The creation of 3D structural models of the installation was carried out by means of the SolidWorks and Compass 3D software package. For the created design of the cooling tunnel installation, heat flows were modeled using the SolidWorks Flow Simulation module and the problem of rational placement of cooling units with evaporators and fans for uniform distribution of temperature fields and air flows over the volume occupied by products was solved. The necessary speed characteristics of the conveyor operation are determined to ensure the specified parameters of cooling confectionery products on the example of marshmallows.

Computer-aided design in mechanical engineering, cooling conveyors, calculations in SolidWorks Flow Simulation, modeling of temperature fields.



ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК ФОРМА ОРГАНИЗАЦИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКИ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ И СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

В статье излагаются вопросы организации научно-исследовательской практики студентов вузов и научно-исследовательской работы аспирантов, обучающихся по техническим направлениям и специальностям, в форме патентного поиска изобретений, оригинальных технических и технологических решений по заданной тематике. Приводятся примеры индивидуальных заданий, рассматриваются алгоритм поиска изобретений, основные требования к оформлению и содержанию отчета, критерии оценки результативности практики.

Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, изобретения, патентные исследования, патентный поиск, машиностроение, инженерная подготовка.

Техническое и экономическое развитие страны опирается на новые и конкурентоспособные продукты, в разработке и организации производства которых не последнее место занимает защита прав на интеллектуальную собственность в виде патентов. Развитие экономики невозможно без постоянного вовлечения в производство новых результатов интеллектуальной деятельности (РИД), которые могут получить патентную охрану. Охраняемые результаты интеллектуальной деятельности, исключительные права на РИД и их материальные носители в экономическом обороте закреплены в соответствующих статьях Гражданского кодекса РФ. Научно-технический прогресс в развитии национальной экономики во многом определяется интеллектуальным потенциалом ученых и инженеров, который, в частности, материализуется в виде патентов на изобретения и полезные модели. Поскольку новаторы являются одним из основных двигателей экономического роста, то для технического перевооружения страны с целью достижения технологического суверенитета и локализации производства наукоемкой продукции необходима подготовка специалистов, способных результативно вести патентные исследования, делать изобретения и патентовать свои разработки [1].

Учебные планы подготовки студентов и аспирантов предусматривают различные виды учебных и производственных практик. Одним из видов такой учебной деятельности является научно-исследовательская практика (НИП) или научно-исследовательская работа (НИР). НИП и НИР направлены на закрепление знаний, умений и владений в области поисковой работы, основы которой закладываются на лекционных, практических и лабораторных занятиях, а также в ходе самостоятельной внеаудиторной работы [2]. Особое значение патентные исследования и изобретательская работа имеют для студентов и аспирантов, обучающихся по таким укрупненным группам направлений и специальностей, как 08.00.00 Техника и технологии строительства, 15.00.00 Машинострое-

ние, 21.00.00 Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия, 23.00.00 Техника и технологии наземного транспорта, 27.00.00 Управление в технических системах.

Существуют различные подходы к организации и содержанию НИР и НИП учащихся вузов, которые неоднократно рассмотрены в соответствующей научно-методических изданиях. Цели НИП и НИР состоят в выработке у студентов и аспирантов практических навыков работы в сфере научных исследований, а также навыков в проектной и инженерной деятельности, связанной с направленным поиском оригинальных технических и технологических решений [3, 4].

Одним из вариантов организации НИП и НИР является приобретение студентами и аспирантами знаний и навыков в области патентоведения и патентных исследований. Патентные исследования – изучение технического уровня и тенденций развития объектов хозяйственной деятельности (проектных и научных организаций, промышленных предприятий), их охраноспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности на основе патентной и другой информации [5]. Кроме этого, студенты получают новые и закрепляют ранее полученные знания в сфере защиты интеллектуальной собственности и патентного дела.

Патентные исследования являются инструментом эффективного управления процессом создания, освоения и сбыта продукции, повышения ее конкурентоспособности, обеспечения коммерческой безопасности любого хозяйствующего субъекта. Проведение патентных исследований – один из путей осуществления маркетинговой деятельности на всех этапах научно-исследовательских опытно-конструкторских и опытно-технологических работ (НИОКТР), которая позволяет установить взаимосвязь с рыночной средой, определить спрос на новшества и пути коммерциализации научной и промышленной продукции. Значимость патентных исследований для экономики страны закрепляется специальным стандартом [6]. По организации и проведению патентных исследований на

предприятиях и в учебных заведениях разработаны многочисленные учебные пособия, например [7–10].

В процессе прохождения НИП и НИР студентам и аспирантам необходимо изучить достаточно большой объем не только патентной, но и научно-технической, учебной, справочной информации как в традиционном бумажном виде, так и в современных цифровых (электронных) форматах.

При проведении патентных исследований используются различные источники – это, прежде всего, источники патентной и научно-технической информации о достижениях науки и техники. Наиболее полным собранием источников о развитии техники и технологий являются базы данных патентной информации, которая обладает прогностическим потенциалом, поскольку опережает другие источники информации на 3–5 лет [5]. Использование патентной информации на всех этапах жизненного цикла продукции, особенно на ранних этапах ее создания, позволяет ориентировать разработчиков на обеспечение высокого уровня качества, технического и технологического совершенства продукции, выявить и отобрать наиболее прогрессивные проектные решения для использования в своих разработках.

Патентные исследования являются работами из сферы инжиниринга – вида деятельности, связанного с решением задач создания объектов промышленности, инфраструктуры и др. Решение задач с помощью патентных исследований требует знания и практического использования теоретических и методологических основ различных естественнонаучных и технических научных дисциплин: системного анализа, прогнозтики, квалиметрии.

НИП и НИР как один из видов практики обучающихся обычно выполняется студентами бакалавриата в соответствии с учебным планом в шестом семестре, когда студент уже вполне готов к такому виду учебной деятельности. В учебных планах магистерской подготовки НИП/НИР обычно предусматривается во втором или третьем семестре. Студенты получают индивидуальное задание на НИП/НИР у руководителя практики. Аспиранты выполняют патентные исследования по указанию научного руководителя, исходя из темы и содержания диссертационных исследований.

Примерные темы индивидуальных заданий на патентные исследования, которые успешно апробированы автором на практике для студентов, обучающихся по направлению 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств (профиль «Автоматизация технологических процессов в машиностроении»):

- «Неметаллические станины металлорежущих станков»;
- «Применение ленты Мебиуса в технологии машиностроения»;
- «Многопозиционные гидравлические и пневматические цилиндры»;
- «Инновационные способы и устройства диагностики минеральных масел (технических) жидкостей»;
- «Устройства автоматического натяжения цепей (ремней) в цепных (ременных) передачах»;
- «Магнитные приспособления для закрепления заготовок на металлорежущих станках».

Кроме этого, в индивидуальном задании могут регламентироваться какие-либо конкретные направления и ограничения поиска изобретений: класс МПК; временная глубина поиска (например, 25 лет, 50 лет или более); страна-правообладатель изобретения; определенный автор или авторы изобретений и др.

Процесс прохождения студентом НИП/НИР и подготовки отчета с результатами патентных исследований включает в себя следующие этапы:

1) получение у руководителя практики от кафедры или научного руководителя аспиранта индивидуальное задание на НИП/НИР;

2) используя рекомендованные библиографические источники, изучение предметной области, связанной с темой индивидуального задания;

3) изучение методологии организации и структуры Международной патентной классификации (МПК);

4) определение класса МПК, соответствующего теме индивидуального задания (<https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/klassifikatory/mezhdunarodnaya-patentnaya-klassifikatsiya/>). При этом практикант может воспользоваться и иными Интернет-ресурсами, содержащими информацию о МПК, например <http://allpatents.ru/mpk/>;

5) поиск описаний изобретений и полезных моделей по сайту Федерального института промышленной собственности (ФИПС, <https://www1.fips.ru/registers-web/>), а также по электронным и бумажным изданиям Информационно-издательского центра «Патент» (<https://inicpatent.ru/>). Поиск патентов можно также производить по специализированным российским Интернет-ресурсам patenton.ru, findpatent.ru, freepatent.ru;

6) поиск зарубежных патентов при необходимости можно выполнить с помощью ресурса <https://patents.google.com>, а также по базам данных национальных патентных ведомств;

7) подготовка обзора найденных технических и технологических решений, оформление отчета о выполнении индивидуального задания в соответствии с действующими в учебном заведении правилами. В приложении к отчету по НИР учащемуся рекомендуется представить распечатки описаний изобретений. При необходимости и по указанию преподавателя практикант может подготовить презентацию с представлением результатов патентных исследований;

8) защита практикантом отчета о результатах прохождения практики.

На рисунках 1 и 2 представлены примеры работы поисковой системы ФИПС. При выполнении индивидуального задания практикантам рекомендуется использовать базы данных ФИПС по отечественным изобретениям и полезным моделям. Конкретный поиск патентных документов при этом может производиться по трем критериям: номер регистрации объекта, дата публикации патентного документа, индекс МПК. В последнем случае поисковая машина ФИПС найдет все отечественные патенты, соответствующие определенному классу МПК. На рисунке 3 приведен пример результатов поиска изобретений по классу МПК В23Q 17/10 «Детали, узлы и вспомогательные устройства для металлообрабатывающих станков, приспособления для индикации или измере-

ния на металлорежущих станках, для индикации или измерения скорости резания или числа оборотов». Из данного примера следует, что поисковая машина нашла всего пять изобретений, соответствующих за-

данному критерию поиска. В других случаях количество найденных изобретений может исчисляться десятками, и номера изобретений тогда будут отображаться нескольких окнах.

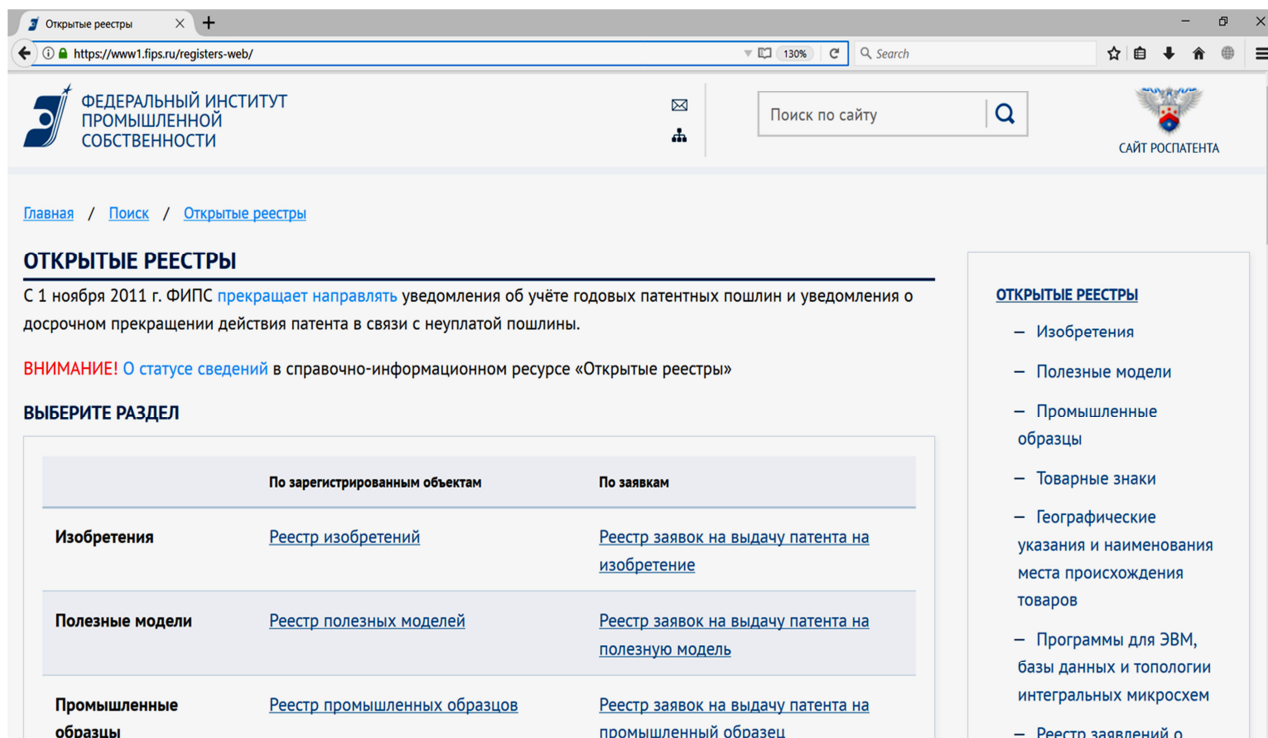


Рис. 1. Фрагмент окна поиска на сайте ФИПС

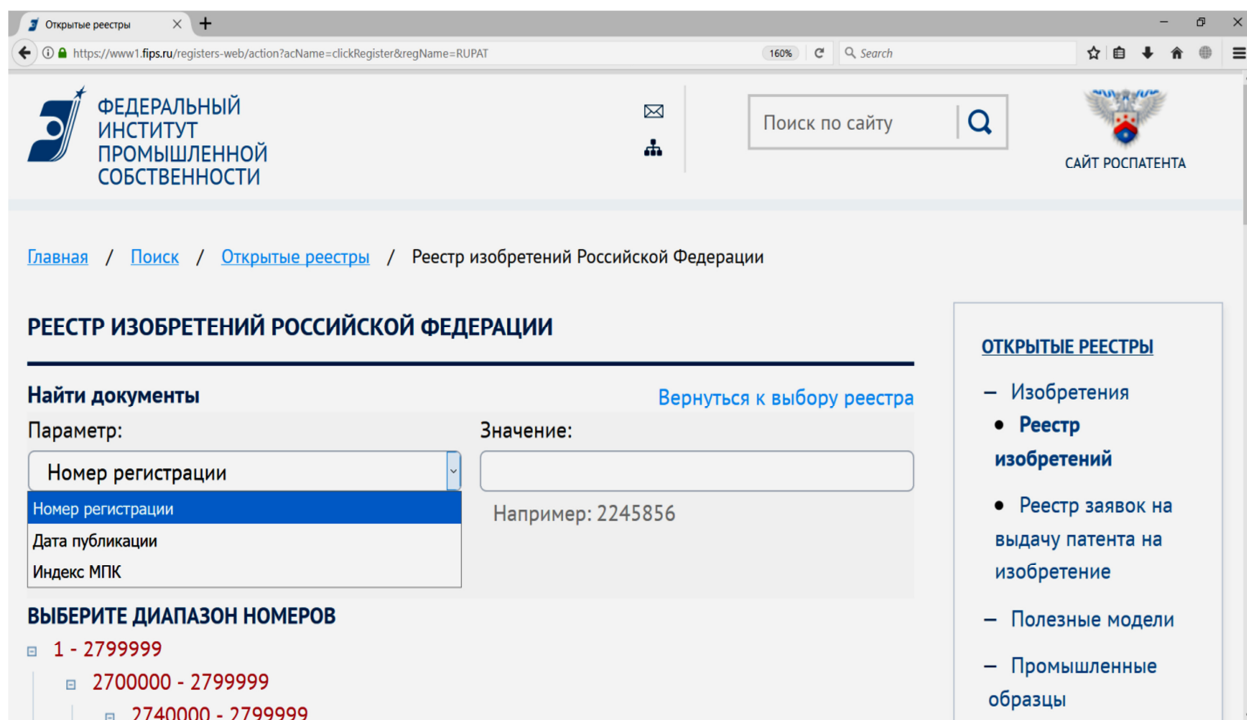


Рис. 2. Фрагмента окна выбора критерия поиска патентного документа

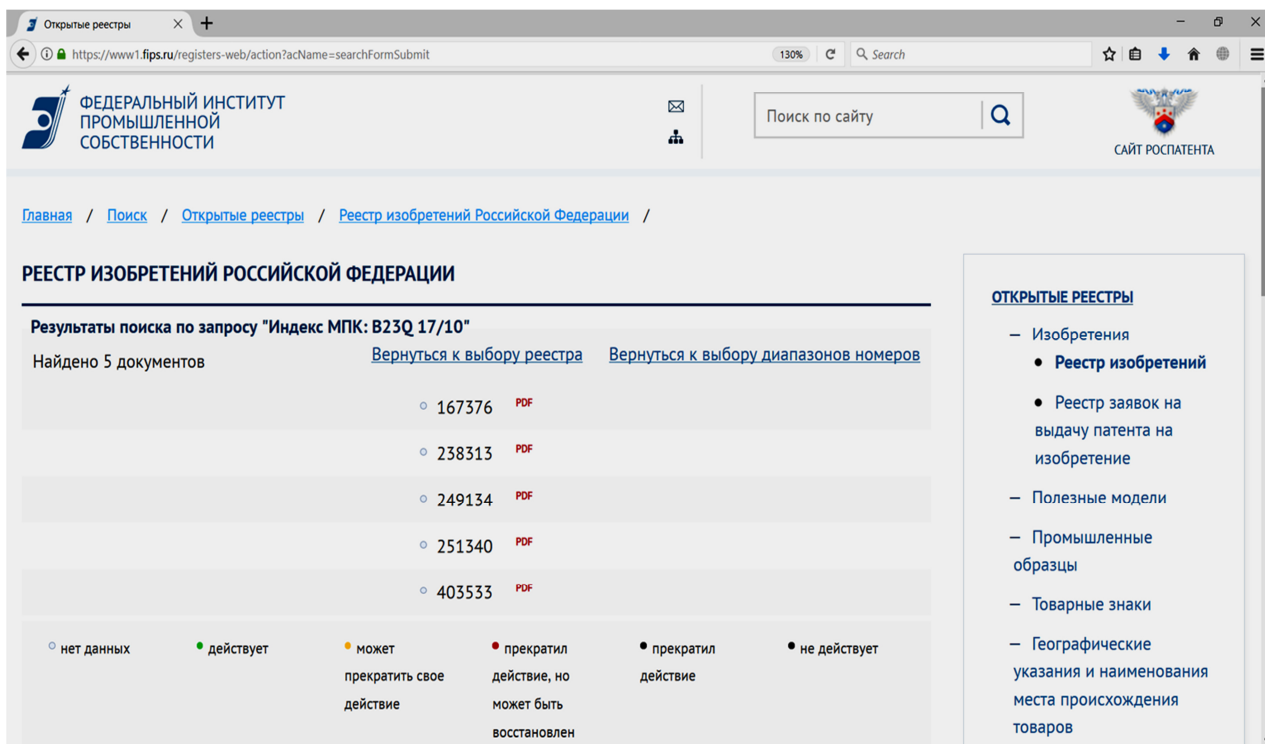


Рис. 3. Результат поиска изобретений по классу МПК В23Q 17/10

К сожалению, исследователям следует отметить, что база ФИПС не является полной, некоторые электронные копии советских и российских изобретений в ней отсутствуют. Аналогичная ситуация может встретиться и в случае поиска по зарубежным патентным базам. Кроме этого, национальные патентные ресурсы существенно различаются по организации и удобству поиска информации.

Условиями надлежащего выполнения НИП/НИР являются систематическое изучение учебной и справочной литературы по тематике решаемой задачи, регулярное посещение консультаций и выполнение указаний руководителя при прохождении практики. При подготовке отчета по практике в разделе библиографического описания могут присутствовать учебники, учебные пособия по теме индивидуального задания, бумажные и электронные; копии описаний изобретений, полезных моделей, технологических способов на русском и иностранных языках; научные статьи на русском и иностранных языках.

Результативность НИП и НИР обычно оценивается как дифференцированный зачет. Рекомендуемый объем патентного поиска варьируется от 4 до 10 найденных и качественно описанных изобретений и технических решений. Защита отчета по НИП/НИР сопровождается демонстрацией студентом своего проекта в форме доклада, презентации и ответов на вопросы руководителя практики и привлеченных преподавателей кафедры. Общими и основными критериями оценки результативности работы учащегося по НИП/НИР, которые в обязательном порядке доводятся до студентов перед началом практики, являются:

- общее качество оформления отчета;
- соответствие оформления отчета требованиям стандартов;

- соответствие содержания отчета условиям индивидуального задания;
- глубина патентного поиска технических и технологических решений;
- количество технических и технологических решений, присутствующих в отчете;
- степень самостоятельного выполнения задания;
- глубина ответов студента на контрольные вопросы и задания по содержанию отчета;
- общая эрудированность студента в области технических и технологических аспектов;
- дополнительные материалы, характеризующие творческий подход студента к содержанию и оформлению отчета.

Опыт проведения НИП/НИР в форме патентного исследования показал, что все практиканты в той или иной мере успешно справляются со своими индивидуальными заданиями. При этом наиболее глубокие и качественные оформленные отчеты становятся заготовками для подготовки, по крайней мере, докладов на студенческих конференциях. Кроме этого, и руководитель практики в процессе изучения результатов патентных исследований, выполненных студентами, тоже сможет расширить свои знания и компетенции в области в своей научно-практической специализации.

Литература

1. Афанасьев, С. В. Совершенствование изобретательской работы на промышленных предприятиях и в вузах / С. В. Афанасьев // Изобретательская, рационализаторская и патентно-лицензионная деятельность в условиях цифровой экономики : Тезисы докладов Международной научно-практической конференции РОСПАТЕНТА / XXII Московский Международный Салон изобретений и инновационных технологий

«Архимед-2019». – Москва : ФИПС, 2019. – С. 3–15. – Текст : непосредственный.

2. Положение о практике обучающихся, осваивающих основные образовательные программы высшего образования – программы бакалавриата, программы специалитета и программы магистратуры в Тульском государственном университете. – Тула : ТулГУ, 2021. – 14 с. – URL: https://tsu.tula.ru/modules/download.php?file_id=5595 (дата обращения: 25.09.2022). – Текст : электронный.

3. Качалов, Н. А. Организация и проведение учебной практики студентов технического вуза / Н. А. Качалов, А. А. Бородин, А. В. Вельш // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16453> (дата обращения: 25.09.2022). – Текст : электронный.

4. Леушин, И. О. Организация практической подготовки поликомпетентного выпускника технического вуза / И. О. Леушин, И. В. Леушина // Высшее образование в России. – 2017. – № 2 (209). – С. 93–98. – Текст : непосредственный.

5. Шведова, В. В. Методологические основы творческой деятельности : учебник / В. В. Шведова. –

Москва : ГОУ ВПО РГИИС, 2010. – 208 с. – Текст : непосредственный.

6. ГОСТ Р 15.011-96. Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1996. – 22 с. – Текст : непосредственный.

7. Основы изобретательства и патентования : учебное пособие / под редакцией И. Н. Кравченко. – Москва : КНОРУС, 2017. – 262 с. – Текст : непосредственный.

8. Скорняков, Э. П. Теория и практика патентных исследований / Э. П. Скорняков, М. Э. Горбунова. – Москва : Патент, 2014. – 207 с. – Текст : непосредственный.

9. Ишков, А. Д. Проведение патентных исследований : справочное пособие / А. Д. Ишков, А. В. Степанов ; под редакцией А. Д. Ишкова. – Москва : Изд-во МИСИ – МГСУ, 2012. – 132 с. – Текст : непосредственный.

10. Медунецкий, В. М. Содержание и структура патентных исследований : учебное пособие / В. М. Медунецкий. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. – 46 с. – Текст : непосредственный.

*A.V. Lobanov, N.N. Trushin
Tula State University*

PATENT RESEARCH AS FORM OF ORGANIZING SCIENTIFIC RESEARCH PRACTICE OF UNDERGRADUATE AND POSTGRADUATE STUDENTS IN ENGINEERING MAJORS AND SPECIALTIES

The article deals with the organization of research practice of university students and research work of graduate students studying in technical areas and specialties, in the form of a patent search for inventions, original technical and technological solutions on a given topic. Examples of individual tasks are given, an algorithm for searching for inventions, the main requirements for the design and content of the report, and criteria for evaluating the effectiveness of practice are considered.

Research practice, research work, inventions, patent research, patent search, mechanical engineering, engineering training.



КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА СТАБИЛИЗИРОВАННОГО РОТАТОРА

В статье показаны математические зависимости, описывающие кинематику и динамику стабилизированного ротатора. Доказывается, что при изменении момента импульса стабилизированного ротатора изменяется радиус и тангенциальная скорость (частота вращения при этом не меняется и равна собственной). Установлены особенности стабилизированного ротатора, а именно: идентичность формулы частоты вращения формуле частоты пружинного маятника, равенство кинетической и потенциальной энергий и вытекающее из этого равенство радиуса вращения груза величине деформации пружины.

Ротатор, маятник, частота, стабилизация, выбег, энергия, момент импульса, циклотронное движение.

Частота вращения многих электрических машин постоянного тока, тепловых машин, накопителей кинетической энергии и т.п. существенно зависит от нагрузки, ее поддержание на заданном уровне обеспечивается внешними регулирующими устройствами, но для более точной регулировки частоты вращения используют кинематические демпферы – стабилизированные ротаторы. В таких устройствах используется принцип стабилизации кинетической энергии как функции двух взаимовлияющих переменных: частоты вращения и момента инерции. Сам ротатор, раскрученный до заданной частоты, также может поддерживать скорость вращения вала автономно за счет накопленной кинетической энергии.

В отличие от большинства стабилизаторов вращения, использующих следящие схемы для удержания частоты вращения в заданном диапазоне [1–4],

стабилизированный ротатор имеет *фиксированную собственную частоту вращения*, формула которой совпадает с формулой частоты свободных колебаний пружинного маятника

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (1)$$

На рисунке показана схема стабилизированного ротатора. На валу, связанном с источником механической энергии и рабочим органом, установлен корпус, в котором с помощью упругих элементов закреплены грузы. При вращении ротора под действием центробежной силы грузы перемещаются от центра. Поэтому с увеличением момента импульса возрастает момент инерции механизма таким образом, что угловая скорость остается неизменной.

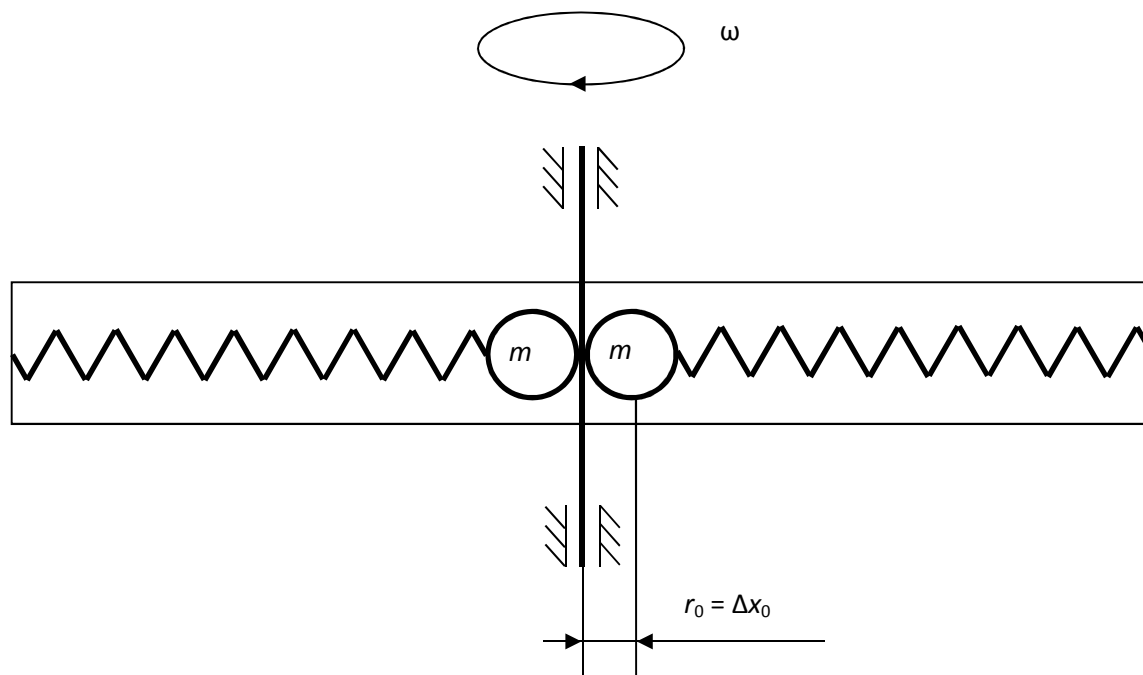


Рис. Стабилизированный ротатор

Проектирование устройств со стабилизированным ротором сопряжено с необходимостью проведения расчетов. Ниже представлено аналитическое описание кинематики и динамики стабилизированного ротора, которое может быть частью таких расчетов.

Кинематика стабилизированного ротора

Момент импульса стабилизированного ротора равен

$$L = J\omega_0 = mr^2\omega_0 = mr^2\sqrt{\frac{k}{m}} = r^2\sqrt{mk}.$$

Здесь J – момент инерции, $x_\omega = \sqrt{mk}$ – волновой реактанс [5–8].

$$r = \frac{v}{\omega_0}.$$

$$L = r^2 x_\omega = \frac{v^2}{\omega_0^2} x_\omega = v^2 \frac{m}{k} \sqrt{mk} = \frac{m}{\omega_0} v^2.$$

При изменении момента импульса изменяется радиус и тангенциальная скорость (частота вращения при этом не меняется и равна собственной).

Положению груза, при котором его центр масс совпадает с осью вращения, соответствует состояние неопределенного равновесия. При вращении груз равновероятно может отклониться в любую из двух сторон и, соответственно, может развиваться как сжатие, так и растяжение пружины.

Состояние неопределенного равновесия можно исключить, обеспечив начальное (статическое) смещение груза r_0 и равную ему начальную деформацию пружины.

Динамика стабилизированного ротора

При раскручивании преднатяженного ротора до частоты ω_0 центробежная сила $m\omega^2 r$ меньше силы начальной деформации пружины kr_0 , поэтому радиус r_0 не изменяется. Это участок линейной динамики $[0, \omega_0]$.

$$r = r_0, \quad \omega = \frac{M}{mr_0^2} t.$$

За время t_0 при постоянном вращающем моменте M ротор достигнет частоты вращения ω_0 .

$$t_0 = \frac{\omega_0 mr_0^2}{M} = \frac{\sqrt{mk} r_0^2}{M} = \frac{L_0}{M}.$$

При дальнейшем нагружении стабилизированного ротора вращающим моментом его динамика (нелинейный участок) описывается системой двух дифференциальных уравнений – вращательного и поступательного (радиального)

$$\begin{cases} \frac{d\omega}{dt} = \frac{M}{J} = \frac{M}{mr^2} \\ m \frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{mv^2}{r} - kr = \frac{m\omega^2 r^2}{r} - kr = (m\omega^2 - k)r \end{cases}.$$

Трение здесь не учитывается.

Начальные условия:

$$\omega|_{t=t_0} = \omega_0, \quad r|_{t=t_0} = r_0, \quad \frac{dr}{dt}|_{t=t_0} = 0.$$

Из системы уравнений и начальных условий следует

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dt}|_{t=t_0} &= \frac{M}{mr_0^2}, \\ \frac{d^2\omega}{dt^2} &= 2 \frac{M}{mr^3} \frac{dr}{dt}, \quad \frac{d^2\omega}{dt^2}|_{t=t_0} = 0, \\ \frac{d^2 r}{dt^2} &= (\omega^2 - \omega_0^2)r, \quad \frac{d^2 r}{dt^2}|_{t=t_0} = 0, \\ \frac{d^3 r}{dt^3} &= 2\omega \frac{d\omega}{dt} r + (\omega^2 - \omega_0^2) \frac{dr}{dt}, \\ \frac{d^3 r}{dt^3}|_{t=t_0} &= 2\omega_0 \frac{M}{mr_0^2} r_0 = 2\omega_0 \frac{M}{mr_0}, \\ \frac{d^3\omega}{dt^3} &= 6 \frac{M}{mr^4} \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 - 2 \frac{M}{mr^3} \frac{d^2 r}{dt^2}, \quad \frac{d^3\omega}{dt^3}|_{t=t_0} = 0. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d^4\omega}{dt^4} &= -24 \frac{M}{mr^5} \left(\frac{dr}{dt}\right)^3 + 6 \frac{M}{mr^4} 2 \frac{dr}{dt} \frac{d^2 r}{dt^2} + \\ &+ 6 \frac{M}{mr^4} \frac{dr}{dt} \frac{d^2 r}{dt^2} - 2 \frac{M}{mr^3} \frac{d^3 r}{dt^3}, \end{aligned}$$

$$\frac{d^4\omega}{dt^4}|_{t=t_0} = -2 \frac{M}{mr_0^3} 2\omega_0 \frac{M}{mr_0} = -4\omega_0 \frac{M^2}{m^2 r_0^4}.$$

$$\begin{aligned} \frac{d^4 r}{dt^4} &= 2 \left(\frac{d\omega}{dt}\right)^2 r + 2\omega \frac{d^2\omega}{dt^2} r + 2\omega \frac{d\omega}{dt} \frac{dr}{dt} + \\ &+ 2\omega \frac{d\omega}{dt} \frac{dr}{dt} + (\omega^2 - \omega_0^2) \frac{d^2 r}{dt^2}, \end{aligned}$$

$$\frac{d^4 r}{dt^4}|_{t=t_0} = 2 \left(\frac{M}{mr_0^2}\right)^2 r_0 = \frac{2M^2}{m^2 r_0^3}.$$

Таким образом, частота вращения стабилизированного ротора и радиус представимы в виде:

$$\begin{aligned} \omega &\approx \frac{1}{0!} \omega(0)t^0 + \frac{1}{1!} \frac{d\omega}{dt}(0)t^1 + \frac{1}{2!} \frac{d^2\omega}{dt^2}(0)t^2 + \\ &+ \frac{1}{3!} \frac{d^3\omega}{dt^3}(0)t^3 + \frac{1}{4!} \frac{d^4\omega}{dt^4}(0)t^4 + \dots = \\ &= \omega_0 + \frac{M}{mr_0^2} t + \frac{1}{2!} 0t^2 + \frac{1}{3!} 0t^3 - \frac{1}{4!} 4\omega_0 \frac{M^2}{m^2 r_0^4} t^4 + \dots = \\ &= \omega_0 + \frac{M}{mr_0^2} t - \frac{\omega_0 M^2}{6m^2 r_0^4} t^4 + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} r &\approx \frac{1}{0!} r(0)t^0 + \frac{1}{1!} \frac{dr}{dt}(0)t^1 + \frac{1}{2!} \frac{d^2 r}{dt^2}(0)t^2 + \\ &+ \frac{1}{3!} \frac{d^3 r}{dt^3}(0)t^3 + \frac{1}{4!} \frac{d^4 r}{dt^4}(0)t^4 + \dots = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= r_0 + 0t + \frac{1}{2!} 0t^2 + \frac{1}{3!} 2\omega_0 \frac{M}{mr_0} t^3 + \frac{1}{4!} \frac{2M^2}{m^2 r_0^3} t^4 + \dots = \\
&= r_0 + \frac{\omega_0 M}{3mr_0} t^3 + \frac{M^2}{12m^2 r_0^3} t^4 + \dots \quad (3)
\end{aligned}$$

Вопрос о сходимости рядов здесь не рассматривается.

Смысл последних двух уравнений состоит в иллюстрации нелинейности динамики стабилизированного ротатора при нагружении его постоянным вращающим (тормозящим) моментом.

Подобно тому, как при вынужденных колебаниях маятника частота не совпадает с собственной частотой, частота вращения стабилизированного ротатора при нагружении не совпадает с собственной частотой вращения.

Из (2) следует, что чем меньше момент M и больше m и r_0 , тем меньше отклонение частоты вращения ω от собственной ω_0 .

Нестационарный режим стабилизированного ротатора

Стабилизированный ротатор может быть представлен суперпозицией двух ортогональных пружинных маятников в соответствии с формулой

$$\mathbf{r}(t) = i\mathbf{r} \cos \varphi(t) + j\mathbf{r} \sin \varphi(t).$$

Это дает возможность использовать хрестоматийные решения для вынужденных колебаний маятника при описании нестационарного режима стабилизированного ротатора, а именно:

$$\begin{aligned}
\mathbf{r}(t) = & \mathbf{i} \left[r_0 e^{-\delta t} \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + \right. \\
& \left. + \frac{x_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_1^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}} \cos \left(\omega t - \arctg \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega_1^2} \right) \right] + \\
& \mathbf{j} \left[r_0 e^{-\delta t} \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \right. \\
& \left. + \frac{x_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_1^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}} \sin \left(\omega t - \arctg \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega_1^2} \right) \right].
\end{aligned}$$

Здесь r_0 – начальный радиус, $\delta = R/(2m)$ – коэффициент затухания, R – коэффициент сопротивления, $\omega_1^2 = \omega_0^2 - \delta^2 > 0$, φ_1 – начальная фаза, ω – частота вынужденных колебаний, $x_0 = F/(2m)$, F – возмущающая сила.

По мере затухания собственных колебаний стабилизированный ротатор будет вращаться с циклической частотой ω , а его радиус примет значение

$$r = \frac{x_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_1^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}} = \frac{2mF}{R\sqrt{R^2 + 16m^2 \omega^2}}.$$

При $\omega_1^2 \leq 0$ происходит аperiodическое затухание.

Второе замечательное свойство стабилизированного ротатора

(Первым является фиксированная собственная частота вращения (1) и ее совпадение с собственной частотой колебаний маятника).

При *вынужденном* вращении стабилизированного ротатора с постоянной частотой

$$\Omega = a\omega_0$$

(a – безразмерный коэффициент) его радиальная динамика определяется уравнением

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = \left(\omega^2 - \frac{k}{m} \right) r = (a^2 \omega_0^2 - \omega_0^2) r = -(1 - a^2) \omega_0^2 r.$$

В зависимости от значения a возможны три варианта.

1. При $a < 1$ имеет место дифференциальное уравнение свободных гармонических незатухающих колебаний с собственной частотой

$$\omega_a = \omega_0 \sqrt{1 - a^2}.$$

Таким образом, стабилизированный ротатор допускает возможность управлять собственной частотой колебаний радиального осциллятора.

2. При $a = 1$ $\frac{d^2 r}{dt^2} = 0$, $\frac{dr}{dt} = V = \text{const}$, $r = r_{01} + Vt$.

Колебания не происходят.

3. При $a > 1$ $\frac{d^2 r}{dt^2} = (a^2 - 1)\omega_0^2 r$, $r = r_{01} e^{(\omega_0 \sqrt{a^2 - 1})t}$.

Колебания не происходят.

Затухание колебаний в стабилизированном ротаторе принципиально не отличается от затухания в обычных колебательных системах.

Выбег ротатора в стабилизированном режиме

Минимальная полная энергия стабилизированного ротатора в стабилизированном режиме соответствует статическому смещению груза r_0 .

$$W_0 = K_0 + U_0 = 2K_0 = 2U_0 = kr_0^2.$$

Максимальная полная энергия теоретически не ограничена, а практически определяется конструктивно установленным максимальным радиусом r_m .

$$W_m = kr_m^2.$$

Пусть средняя за выбег мощность диссипативных потерь равна P .

Тогда время выбега составит

$$\tau = \frac{W_m - W_0}{P} = k \frac{r_m^2 - r_0^2}{P}.$$

Очевидно, что чем меньше P , тем меньше отклонение частоты вращения ω от собственной ω_0 .

Заключение

Представленный стабилизированный ротатор обладает фиксированной частотой вращения, не зависящей от момента импульса и момента инерции.

Это означает, что так же, как и при циклотронном движении [9, 10], при нулевом вращающем моменте в стационарном режиме частота вращения стабилизи-

рованного ротатора не может быть произвольной и принимает единственное значение.

Другими особенностями стабилизированного ротатора являются идентичность формулы частоты вращения формуле частоты пружинного маятника, равенство кинетической и потенциальной энергий и вытекающее из этого равенство радиуса вращения груза величине деформации пружины.

Стабилизированный ротатор может использоваться для управления собственной частотой колебаний радиального осциллятора, хотя в этом качестве он может иметь сильную конкуренцию со стороны мехатронных систем.

Напротив, в качестве стабилизатора вращений его конкурентные возможности неоспоримы и определяются предельной простотой конструкции.

Литература

1. Динамическая стабилизация вращения круга внутришлифовального станка / В. А. Гречишников, Е. С. Антипина, С. Н. Жилин [и др.] // Вестник МГТУ «Станкин». – 2016. – № 2 (37). – С. 8–12.
2. Распопов, В. Я. Индикаторные гиросtabilизаторы / В. Я. Распопов. – DOI: 10.14489/hb.supr.2016.11.pp.001-020 // Справочник. Инженерный журнал. – 2016. – № 11. – С. 1–20.
3. Попов, И. П. Применение искусственной массы для балансировки механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 1 (11). – С. 19–21.
4. Попов, И. П. Наложение вращений в механизмах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 4 (10). – С. 19–23.
5. Попов, И. П. Механические реактансы при гармонических колебаниях исполнительных органов машин и механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 4 (14). – С. 65–67.
6. Попов, И. П. Диссипативная, реактивная и полная мощности виброприводов машин / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 3 (5). – С. 72–74.
7. Попов, И. П. Механическая реактивная инерционная мощность в механических системах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 3 (13). – С. 63–65.
8. Попов, И. П. Исследование резонансов в технических системах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 2 (4). – С. 15–18.
9. Павлов, В. Д. Теоремы об излучении заряда / В. Д. Павлов. – DOI: 10.25791/infizik.6.2021.1213 // Инженерная физика. – 2021. – № 6. – С. 37–40.
10. Павлов, В. Д. Энергетика излучения электрического заряда и ее следствия / В. Д. Павлов. – DOI: 10.31040/2222-8349-2021-0-4-5-8 // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2021. – № 4. – С. 5–8.

I.P. Popov
Kurgan State University

KINEMATICS AND DYNAMICS OF STABILIZED ROTATOR

The article shows mathematical dependencies describing the kinematics and dynamics of a stabilized rotator. It is proved that when the angular momentum of a stabilized rotator changes, the radius and tangential velocity change (the rotational frequency does not change and is equal to its own). The features of a stabilized rotator are established, namely: the identity of the formula for the frequency of rotation to the formula for the frequency of a spring pendulum, the equality of kinetic and potential energies, and the resulting equality of the radius of rotation of the load to the value of the deformation of the spring.

Rotator, pendulum, frequency, stabilization, run-out, energy, angular momentum, cyclotron motion.



А.Н. Сизов¹, А.В. Старостин², Н.И. Кулева²
¹Санкт-Петербургский государственный
 электротехнический университет,
²Вологодский государственный университет

КВАЛИМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В данной статье рассмотрены вопросы формирования элементов номенклатуры квалиметрических показателей долговечности, износа и износостойкости деталей машин и материалов. Приводится методика расчета квалиметрических показателей износостойкости.

Единичные и комплексные показатели, квалиметрические (оценочные) показатели, методы квалиметрии, надежность, износ, работоспособность машин, долговечность, изнашивание, износостойкость.

Целью настоящей работы является определение и формирование элементов номенклатуры единичных и комплексных квалиметрических (оценочных) показателей и характеристик свойств надежности и долговечности машин, их составных частей, деталей и применяемых для их изготовления материалов для исследования их связи и взаимозависимости, поиска путей улучшения качества машин. В настоящее время можно отметить недостаточную структурированность таких показателей. Обобщенной классификации квалиметрических показателей, отражающей свойства износа (долговечности деталей) и износостойкости, нет. Существует несколько вариантов в зависимости от характерных признаков формирования соотношений единичных показателей. Отсутствуют унифицированные подходы к описанию и формированию номенклатуры квалиметрических показателей долговечности и износа. Имеется необходимость использования широкого комплекса статистических и аналитических мероприятий для описания проблемы [1].

Номенклатура показателей качества зависит от назначения продукции (материала). Продукция многоцелевого назначения может иметь весьма многочисленную номенклатуру.

В машиностроении качество продукции оценивается системами квалиметрических показателей, состоящими, как правило, из 3-х основных групп: единичные, комплексные и обобщающие.

К единичным показателям относятся: показатели назначения, надежности, технологичности, стандартизации и унификации, а также технико-экономические показатели и некоторые другие.

Показатели условной надежности (прежде всего безотказности и восстанавливаемости) и долговечности являются главными при оценке качества деталей машин и материалов [2].

Надежность деталей машин и материалов, в общем смысле, – это свойство изделия (материала изделия) выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени.

Долговечность есть свойство изделия (материала) сохранять работоспособность длительное время, до

перехода в предельное состояние в процессе эксплуатации изделия. Показателями долговечности могут служить, например, характеристики длительной прочности, усталостной прочности, износостойкости и другие. Эти достаточно широкие характеристики, могут, в свою очередь, описываться квалиметрическими единичными показателями. Такую группу можно назвать техническими («физико-техническими») показателями [3].

Другими показателями долговечности является группа (или отдельная номенклатура), условно называемая группой служебных нормативных (нормативно-технических) показателей, характеризующих долговечность по ресурсу и сроку службы. К подгруппе показателей «по ресурсу» относятся следующие: средний ресурс (средний технический ресурс до капитального ремонта) T_p , гамма – процентный ресурс $T_{рг}$, назначенный ($T_{р.н.}$) и установленный ($T_{р.у.}$) ресурсы. Ко второй подгруппе относятся: средний срок службы ($T_{сл}$), гамма – процентный срок службы ($T_{слг}$), назначенный срок службы ($T_{сл.н.}$), установленный ($T_{сл.у.}$) и предельный сроки службы ($T_{слп}$). Понятие «ресурс» здесь характеризует долговечность по наработке изделия, «срок службы» – долговечность по календарному времени.

Группа или конкретная номенклатура технических показателей связана с процессом изнашивания деталей машин и, соответственно, с износом.

Под изнашиванием обычно понимается процесс постепенного поверхностного разрушения материала деталей машин в результате трения, взаимодействующих с ними других деталей, твердых тел или частиц. Сопротивление изнашиванию зависит от многих условий, в том числе свойств материалов, сопряженных тел, температурных характеристик, свойств промежуточных сред. Понятие «износ» имеет несколько значений. В более общем смысле это понятие обычно означает потерю работоспособности, которое является следствием недопустимого отклонения от исходного состояния и, как правило, не зависит от вызывающих это причин. В физическом и чисто техническом смысле под термином «износ» понимается разрушение поверхностного слоя материала, происходящее в результате действия внешних сил, часто

при трении. Силовые воздействия сопровождаются разупрочнением материала, в том числе и под действием газовой или жидкой среды. Именно наличие силовых воздействий отличает износ от других процессов поверхностного разрушения материалов, таких как коррозия, электрическая эрозия, сублимация и некоторых других [4].

Износ является важной составляющей частью (группой) свойства «долговечности» и имеет свои единичные квалитметрические показатели (меры количества), отличающиеся от единичных (общих, номенклатурных) показателей долговечности.

Важнейшей такой количественной мерой износа можно считать суммарную величину разрушения W (размерность – мк, мм), которая может определяться изменением размеров деталей. Это изменение называется линейный износ.

Другими критериями оценки износа служат показатели уменьшения объема W_o (размерность – куб. мк, куб. мм) или веса W_b (размерность – г, мг) детали, соответственно объемный и весовой износ. Износ, в описываемых случаях, представляется функцией времени, поэтому его количественной характеристикой служит скорость изнашивания W' (размерность – мк/ч, куб. мм/ч, мг/ч). В качестве вспомогательных показателей применяют темп (W_T) и интенсивность изнашивания ($W_{ин}$). Первый из этих показателей характеризует величину износа, отнесенную к единице работы, которая выполнена машиной к моменту оценки темпа изнашивания данной детали, второй – к единице пути трения детали. Примеры размерности первого показателя – мк/т, куб. мм/т, мг/га; второго – мк/км, куб. мм/км, мг/км.

К группе квалитметрических показателей износа можно также отнести квалитметрические показатели износостойкости. Под износостойкостью материала (деталей машин) понимается характеристика способности сопротивляться изнашиванию в определенных условиях внешнего воздействия. Основными показателями износостойкости считаются просто износостойкость S_w (размерность – ч/мк, ч/куб.мм, ч/мг) и относительную износостойкость $S_{w/x}$ (1). Относительная износостойкость является безразмерным показателем, характеризующим соотношение абсолютных величин износа, материалов/деталей, один из которых принят за эталон/базовый образец, а второй является оцениваемым. В основе формирования таких соотношений лежит дифференциальный метод квалитметрии.

$$S_{w/3} = W_3/W_o, \quad (1)$$

где W_3 относится к эталону (или базовому образцу),

W_o – к оцениваемому образцу.

Величина $S_{w/3}$ показывает, во сколько раз износостойкость оцениваемого (исследуемого) материала/детали больше или меньше износостойкости эталонного материала (Э).

Износостойкость определяется также с помощью абсолютного (безотносительного) показателя S_w (2), (3), вычисляя его как величину, обратную износу или скорости изнашивания:

$$S_w = 1/W, \quad (2)$$

$$S_w = 1/W'. \quad (3)$$

Величина износа W приводится к единице времени испытаний и площади образца, если испытания ведутся в течение неодинакового времени и на разных образцах. Износостойкость характеризует время (ч, мин, с), потребное для образования единицы износа (мк, куб. мм, мг).

Величины относительной и абсолютной износостойкости дают качественно одинаковую оценку износостойкости материалов/деталей и связаны между собой (4):

$$S_{w3} = W \times S_w. \quad (4)$$

Кроме показателей, перечисленных выше, применяется ряд вспомогательных, удельных показателей износа, например при соотнесении величин износа к работе трения, расходу горючего для двигателей внутреннего сгорания и пр. [5].

Результаты испытаний в определенных условиях внешнего воздействия дают возможность расположить материалы по абсолютным или относительным значениям износостойкости (возрастанию/убыванию) в ряд. Такие последовательно расположенные материалы представляют собой ряды износостойкости. Если происходит изменение воздействий, то имеет место качественное изменение ряда, называемое инверсией износостойкости. Если меняются только количественные соотношения износостойкости, без нарушений последовательности расположения, то ряд считается неизменным.

Известным рядом является классификация износостойкости по показателю J (один из случаев $W_{ин}$) – интенсивности линейного изнашивания (отношение линейного износа к пути трения). Классификация определяет 10 классов износостойкости (от 0 до 9-го) [6, 7].

Литература

1. Елохов, А. М. Управление качеством. Учебное пособие. В 2 частях. Часть 1. Основы квалитметрии / А. М. Елохов, Г. А. Арбузова ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2020. – 111 с.
2. Основы технологии машиностроения : учебник и практикум для вузов / А. В. Тотай [и др.] ; под общей редакцией А. В. Тотая. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 300 с. – ISBN 978-5-534-12954-0.
3. Технологические основы обеспечения качества машин / К. С. Колесников, Г. Ф. Баландин, А. М. Дальский [и др.] ; под общей редакцией К. С. Колесников. – Москва : Машиностроение, 1990. – 254 с.
4. Защита от коррозии : сборник стандартов. – Москва : Издательство стандартов, 1990. – Ч. 1, 1991. – Ч. 2.
5. Петровский, Э. А. Управление качеством производственных и технологических систем / Э. А. Петровский. – Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2017. – 352 с.
6. Зубарев, Ю. М. Математические основы управления качеством и надежностью изделий : учеб. пособие / Ю. М. Зубарев. – Москва : Лань, 2017. – 176 с.
7. Рожков, Н. Н. Квалитметрия и управление качеством. Математические методы и модели : учебник и практикум для вузов / Н. Н. Рожков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2022. – 167 с. – ISBN 978-5-534-07048-4.

A.N. Sigov¹, A.V. Starostin², N.I. Kuleva²
¹Saint Petersburg State Electrotechnical University,
²Vologda State University

QUALIMETRIC INDICATORS OF DURABILITY AND WEAR OF MACHINE PARTS

This article discusses the issues of forming elements of the nomenclature of qualimetric indicators of durability, wear and tear resistance of machine parts and materials. A method for calculating the wear indicators of a qualimetric group is given.

Single and complex indicators, qualimetric (estimated) indicators, qualimetry methods, reliability, wear, machine performance, durability, wear, wear resistance.



РЕЖУЩИЕ СВОЙСТВА БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ «КАРБИД ТИТАНА – СПЕЦСТАЛЬ»

В работе сделан краткий анализ режущих свойств материалов с точки зрения внешних воздействий на режущий клин инструмента и корреляций с другими свойствами материалов. Приведен список научных трудов, посвященных разработке эффективных твердых сплавов на основе карбида титана со стальной связкой. Особое внимание уделено выбору структуры и состава стальной связки. Кратко описаны технология изготовления образцов и методика экспериментальной оценки механических и режущих свойств сплавов. Испытания показали, что наиболее высоким уровнем режущих свойств обладают сплавы, содержащие 80–85 % TiC, остальное – спецсталь. Анализ экспериментальных данных подтвердил принципиально важное свойство спецстали – теплоустойчивость. Установлены направления совершенствования режущих твердых сплавов со стальной связкой.

Режущие свойства, теплоустойчивость, стальная связка, карбид титана, структура, состав твердого сплава.

Режущие свойства фактически являются критерием эксплуатационных свойств инструментальных материалов, в частности твердых сплавов. Высокие режущие свойства обеспечивают материалу массовое применение в качестве режущего, а также износостойкого конструкционного материала. Особая роль режущих свойств обусловлена комплексом условий процесса резания и воздействий на режущий материал. По существующим представлениям, на консольный асимметричный режущий клин инструмента оказывают динамическое давление и изнашивание срезаемый слой материала, а также поверхность резания (или обрабатываемая поверхность). Малые размеры зоны резания и прочные связи в обрабатываемых материалах (например, в металлах) делают воздействия на режущий материал весьма интенсивными.

Основные воздействия при обработке резанием: контактное смятие вершины режущего клина (которое нарушает идеальную сдвиговую пластическую деформацию стружкообразования); возникновение механических напряжений (нормальных и касательных, статических, динамических и циклических) в режущем клине (которые могут привести к его разрушению); изнашивание контактных поверхностей режущего клина (передней и задней) по разным механизмам изнашивания (сухое трение, абразивное, усталостное, высокотемпературное, адгезионное, диффузионное), которое приводит к нарастающему искажению формы (вплоть до разрушения) режущего клина; нагрев режущего материала, который снижает его сопротивление механическим воздействиям, при превышении предела теплоустойчивости приводит к необратимым диффузионным превращениям в структуре материала с быстрым (катастрофическим) износом или разрушением режущего клина.

В итоге на режущие свойства инструментального материала значительное влияние оказывают его (в чем-то более простые) свойства: твердость, прочность, износостойкость, теплоустойчивость (в частности, «горячая» твердость), термостойкость, теплопровод-

ность и другие. В многочисленных теоретических и опытно-практических научных трудах, например в [1], раскрыто влияние и взаимодействие указанных свойств на показатели режущей способности материалов:

1. Твердость режущего материала должна превосходить твердость обрабатываемого материала в 2,5–4 раза. Верхний предел характерен для гетерогенных материалов, к которым относятся твердые сплавы. Общая твердость (как сопротивление макроскопической контактной пластической деформации) позволяет сохранять остроту режущего клина (радиус при вершине меньше шага сдвиговой деформации перед режущим клином). Таким образом, режущие твердые сплавы с твердостью HV1600–2000 (например, T15K6 или TN-20) могут стабильно обрабатывать материалы с твердостью HV500 (закаленные конструкционные стали), но их твердости недостаточно для надежной обработки материалов с твердостью HV600–700 (закаленные инструментальные стали).

2. Статическая прочность режущего материала должна соответствовать виду его нагружения (чаще всего, это – прочность при изгибе, реже – для вращающихся инструментов с цельной режущей частью – прочность при кручении) и силовому характеру обработки (зависит от твердости обрабатываемого материала и от сечения срезаемого слоя: глубины резания и подачи). Прочность обеспечивает сопротивление режущего клина разрушению. При чистовой обработке в режущем клине инструмента возникают нормальные напряжения при изгибе величиной до 600 МПа, при черновой обработке – до 1200 МПа. Более высокие напряжения при изгибе (особенно их растягивающая часть) неприемлемы для режущих твердых сплавов (имеющих низкую прочность при растяжении). Выход – снижение доли растягивающих напряжений в опасных сечениях режущего элемента, приближение вида нагружения к одноосному или двухосному сжатию с допускаемыми напряжениями до 2000–3000 МПа (для сплавов на основе карбида вольфрама). Это достигается, например, размещением

твердосплавного элемента в гнезде из высокопрочной инструментальной стали.

3. Износостойкость (сопротивление изнашиванию) должна обеспечивать режущему клину достаточную продолжительность сохранения формы и размеров в условиях интенсивного изнашивания. Износостойкость режущих материалов, как правило, превосходит износостойкость конструкционных материалов, например при сухом и абразивном трении. Твердые сплавы по ряду причин обладают высокой износостойкостью во многих условиях работы. Это обусловлено их составом и структурой, но прежде всего – высокой энергией связи (микротвердостью) их карбидной основы, требующей совершения большой работы микроразрушений, приводящей к износу. И, в общем, износостойкость при видах изнашивания без существенного теплового воздействия имеет прямую связь с твердостью материала. Однако «холодная» износостойкость не гарантирует материалу износостойкости в условиях резания (важнейшей составляющей режущих свойств).

4. Теплостойкость (сопротивление снижению механических свойств при тепловом воздействии) обеспечивает режущему клину при нагреве сопротивление смятию, пластическому течению, разрушению, интенсивному изнашиванию. Разупрочнение материалов при нагреве является физической неизбежностью, важно, чтобы оно не было катастрофически быстрым и существенным (в абсолютных и относительных единицах). Теплостойкость поддерживается стабильной (по отношению к нагреву) структурой материала. В известных режущих твердых сплавах высокая теплостойкость обеспечивается как карбидной основой (не претерпевает никаких изменений вплоть до весьма высокой температуры плавления), так и связкой. В титано-вольфрамо-кобальтовых твердых сплавах теплостойкость до 850 °С создается структурой связки в виде твердого раствора Co(W) и дисперсных интерметаллидов типа Co₆W₅. В безвольфрамовых твердых сплавах на основе карбида титана теплостойкость около 750 °С зависит от никель-молибденовой связки, представляющей собой твердый раствор Ni(Mo) с упрочняющей фазой Лавеса – интерметаллидами типа Ni₂Mo. Важнейший показатель теплостойкости – «горячая» твердость твердых сплавов – зависит также от структуры (архитектуры) карбидной основы. Высокой «горячей» твердостью обладают сплавы со структурой сплошного (не арочного) карбидного каркаса из частично сросшихся карбидных зерен. При увеличении содержания связки карбидный каркас фрагментируется, пластическая деформация развивается по связке, огибая высокотвердые зерна, не упираясь в них, не проходя через них, в результате – «горячая» твердость резко снижается.

5. Термостойкость (сопротивление термическим циклам, ударам) необходима режущему материалу, подвергающемуся в процессе резания быстрым нагревам и охлаждениям. Гетерогенные по своей структуре твердые сплавы имеют разные по коэффициентам термического расширения структурные составляющие: карбиды (хрупкие по природе) и упрочненную (то есть, в значительной степени, охрупченную) связку. Для сравнения: термические коэффициенты ли-

нейного расширения: у WC – $5,2 \times 10^{-6}$ %/град., у TiC – $7,42 \times 10^{-6}$ %/град. [2], у Fe – $11,7 \times 10^{-6}$ %/град. Термические напряжения могут преодолеть (что наиболее характерно) прочность границ между карбидами и связкой и привести (обычно – к термоусталостному) разрушению твердого сплава. Эксплуатация твердосплавных инструментов должна предусматривать отсутствие тепловых ударов.

6. Теплопроводность (способность релаксировать тепловую энергию, отводить ее из зон наибольшей локализации) необходима для снижения температуры в режущем клине и сохранения требуемого для резания уровня механических свойств материала. Теплопроводность твердых сплавов определяется абсолютно преобладающей в их составе карбидной фазой. По данным [2], теплопроводность карбида вольфрама WC составляет 0,07 кал. / см × сек × град., карбида титана TiC – 0,058. Для сравнения: теплопроводность железа – 0,2 кал. / см × сек × град. Большая разница в теплопроводности обусловлена высокой концентрацией обобществленных электронов в металлах и низкой – в карбидах. Для справки: у твердых соединений без «электронного газа» – оксидов, нитридов, диборидов – теплопроводность еще на порядок ниже. Известно, что режущие элементы из оксидной минералокерамики или из кубического нитрида бора при скоростном резании в течение нескольких секунд разогреваются до температуры выше 1000 °С.

В принципе, зная уровень всех рассмотренных свойств, установленных экспериментально по отдельности, можно ориентировочно прогнозировать режущие свойства. Однако надежная оценка режущих свойств может быть дана только прямым экспериментом – обработкой резанием.

Разработка режущих безвольфрамовых твердых сплавов без дефицитных компонентов, без сомнения, является актуальной и весьма сложной задачей. Для ее решения нами была выполнена экспериментальная оценка и анализ механических свойств твердых сплавов на основе разных карбидов переходных металлов с железной связкой [3–5], анализ их структуры [6], экспериментальная оценка свойств и анализ структуры сплавов на основе карбида титана с железной связкой [7, 8] и разными стальными связками [9], с железо-молибденовой связкой [10, 11], экспериментальная оценка и анализ режущих свойств сплавов с железной [12–14], разными стальными [15] и железо-молибденовой связками [16].

Экспериментальные твердые сплавы были изготовлены по технологии с размолотом и жидкофазным вакуумным спеканием (более подробно – в [3]). Испытания с износом абразивом проводились по оригинальной методике по внутренней поверхности вращающегося барабана [8]. Методика оценки режущих свойств подробно описана в [13].

Основные результаты выполненных и опубликованных работ

У сплавов на основе разных карбидов с железной связкой определен ожидаемый средний уровень твердости (от HRA86 при 70 % TiC до HRA89,5 при 90 % TiC), пониженный уровень прочности при изгибе (от 790 МПа при 70 % TiC до 430 МПа при 90 % TiC), износ абразивом 9,6 мг при 90 % TiC (5 мг у твердого

сплава Т15К6), интенсивность износа при резании – недопустимо большая – в десятки раз больше, чем у сплава Т15К6. На таком же низком уровне оказались режущие свойства экспериментальных сплавов на основе карбида титана с разными стальными связками (карбидного и аустенитного классов).

Для улучшения взаимодействия с карбидом титана и повышения теплостойкости связки и сплава в целом нами был выбран структурный класс стали (высоколегированный феррит с упрочнением дисперсными теплостойкими интерметаллидами) из системы Fe – Cr – Mn – Ti и рассчитан состав легирующих компонентов стали [17]. Специальная сталь для связки в твердых сплавах на основе карбида титана получила условное марочное обозначение – сталь Х14Г10Т6. На Ново-Тульском металлургическом комбинате методом распыления в аргоне был изготовлен порошок стали Х14Г10Т6 с отсевом фракции менее 100 мкм для использования в качестве связки. По данным химического анализа состав порошка стали Х14Г10Т6: 0,02 % С, 15,23 % Cr, 9,9 % Mn, 5,74 % Ti, 0,26 % Si. По сравнению с расчетным составом спецстали (10,8 % Mn, 12,1 % Cr, 7,6 % Ti) несколько завышенное содержание хрома и заниженное содержание титана признано допустимым для экспериментальной оценки свойств и анализа структуры.

Для сопоставимости данных экспериментальные сплавы TiC – спецсталь были изготовлены по той же технологии [3], испытания проведены по тем же методикам [8, 13]. Для испытаний были изготовлены образцы 5×5×40 мм и пластины 12,7×12,7×4,7 мм. Условия испытания резанием: токарный станок по-

вышенной жесткости 1Б63. Заготовки из стали 45 в виде предварительно обработанных болванок Ø110×1200 мм. Резец – проходной с механическим креплением пластины прихватом. Элементы геометрии: главный угол в плане 45°, главный задний угол 6° (за счет наклона пластины), главный передний угол – 6°. Изнашиванию подвергались от 4 до 8 вершин пластины. Режимы резания: скорость резания 100 м/мин с изменением частоты вращения шпинделя от 300 до 500 об/мин по мере уменьшения диаметра болванки до 60 мм. Критерий износа: ширина ленточки износа по задней поверхности h_3 измерялась на инструментальном микроскопе Dino-Lite AM413ZT с увеличением ×10 и ×70. Снимки изношенных поверхностей резцов выполнены на растровом электронном микроскопе JSM-35, Япония.

Основные результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица

Свойства твердых сплавов TiC – сталь Х14Г10Т6

Содержание TiC в сплаве, % масс	Износ резанием, мм/мин	Твердость HRA (HV)	Прочность при изгибе, МПа	Износ абразивом, мг
50	1,3	86 (1200)	1300	16,6
60	0,7	88 (1400)	1080	12,0
70	0,17	89 (1550)	880	10,0
80	0,08	89,5 (1700)	780	7,7
85	0,06	90 (1800)	760	6,4
90	0,08	90,5 (1850)	730	5,9

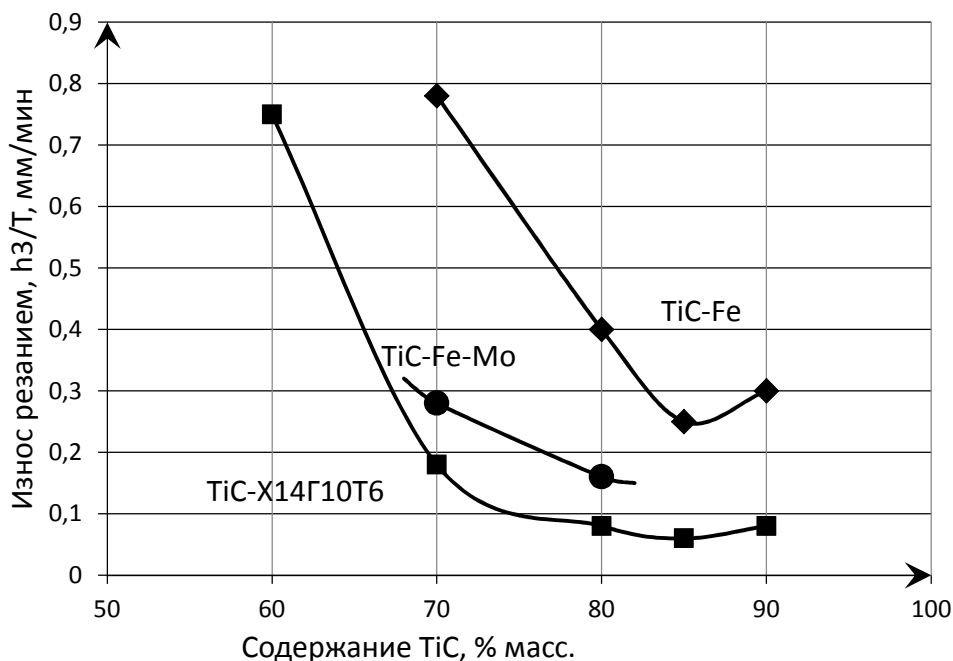


Рис. 1. Влияние содержания карбида титана на износ резанием сплавов со связками из железа, железа с 5 % молибдена в сплаве и со сталью Х14Г10Т6

Интенсивность износа режущего клина по задней поверхности (износ резанием) у сплавов TiC – сталь X14Г10Т6 закономерно изменяется с ростом содержания карбида титана в сплаве (рис. 1). Характер монотонной зависимости: резкое снижение с 0,7 до 0,17 мм/мин в диапазоне от 60 до 70 % TiC, далее – плавное уменьшение до 0,06 мм/мин при 85 % и некоторое увеличение до 0,08 мм/мин при 90 % TiC. Для сравнения приведены результаты испытаний сплавов на основе карбида титана с другими связками: железной и железо-молибденовой. Для этих групп сплавов также характерна стабилизация и минимум износа резанием в диапазоне 80–90 % TiC. Значительно меньший износ резанием сплавов TiC – сталь X14Г10Т6 можно объяснить только более высокой теплостойкостью («горячей» твердостью) стали X14Г10Т6 и сплавов с этой связкой, несмотря на более высокие твердость и прочность при изгибе сплавов с железо-молибденовой связкой [10]. Стабилизация износа резанием при содержании карбида титана 80–90 % объясняется формированием в структуре сплавов кар-

бидного каркаса [7], благодаря чему дополнительно (сверх аддитивной зависимости) увеличивается твердость (сопротивление сдвиговой пластической деформации, а значит, и сопротивление износу).

Характер износа у сплавов с разными связками существенно отличается. У сплавов с железной связкой при резании с режимами, характерными для классических твердых сплавов, происходит значительное тепловое разупрочнение, прежде всего связки, вследствие чего вдоль поверхности резания в режущем клине развивается интенсивное пластическое течение и разрушение сплава (рис. 2а) с обнажением карбидных зерен. У сплавов с железо-молибденовой связкой пластическое течение менее интенсивно (рис. 2б) благодаря повышенной теплостойкости, твердости и прочности. Сплавы с теплостойкой сталью X14Г10Т6 разупрочняются мало, изнашиваются значительно дольше, благодаря чему на передней поверхности режущего клина успевает появиться лунка износа (рис. 3), режущая кромка сохраняет остроту после 4–10 минут резания.

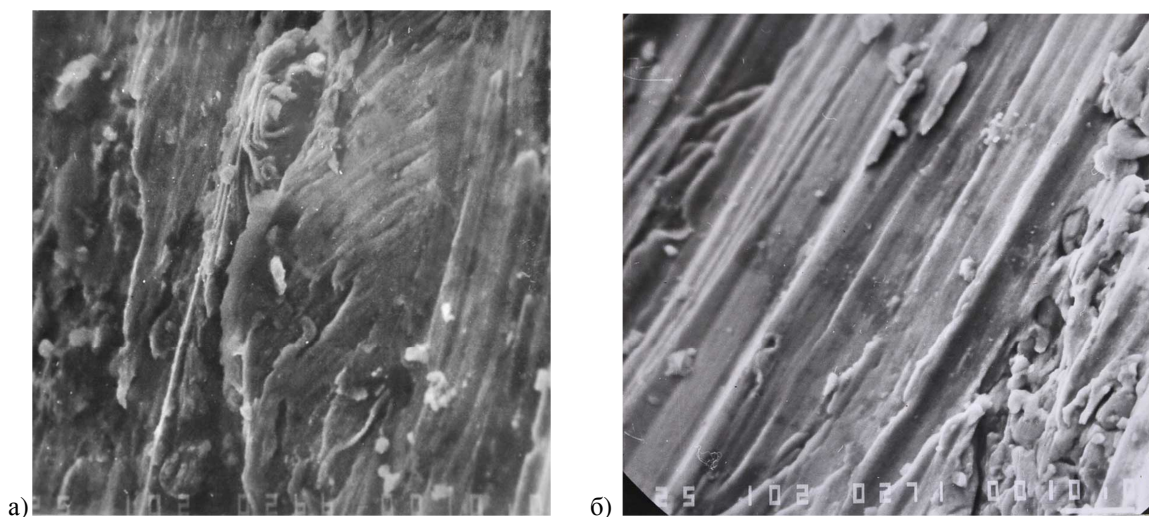


Рис. 2. а) интенсивное пластическое течение по задней поверхности у резца из сплава 70 % TiC – Fe, $\times 1000$; б) пластическое течение по задней поверхности у резца из сплава 70 % TiC, 5 % Mo, 25 % Fe, $\times 1000$

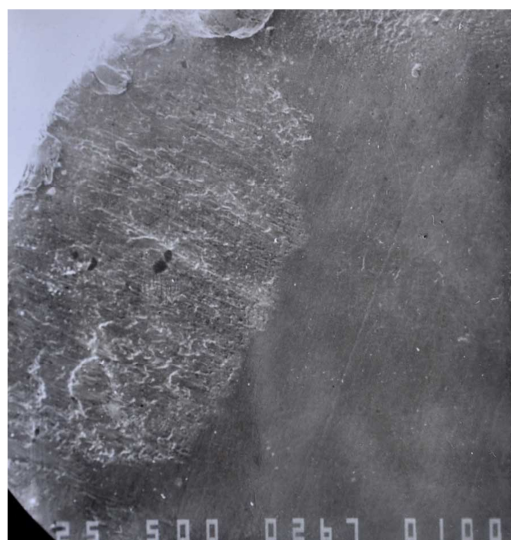


Рис. 3. Лунка износа на передней поверхности резца из сплава 70 % TiC – сталь X14Г10Т6, $\times 50$

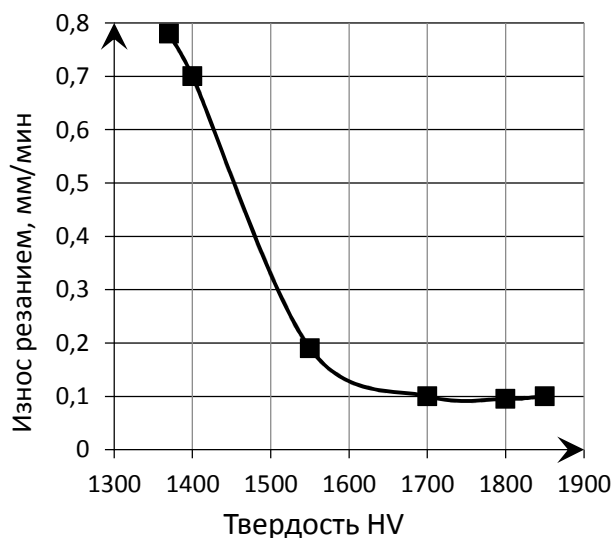


Рис. 4. Зависимость износа резанием от твердости сплавов TiC – сталь X14Г10Т6

Интерес представляют некоторые корреляционные зависимости режущих свойств с другими свойствами [19] сплавов TiC – сталь X14Г10Т6. На рисунке 4 представлена зависимость интенсивности износа резанием от твердости сплавов. При увеличении твердости от HV1400 при 60 % TiC до HV1550 при 70 % TiC происходит резкое уменьшение износа резанием от 0,7 мм/мин до 0,17 мм/мин. В интервале значений твердости от HV1700 при 80 % TiC до HV1850 при 90 % TiC износ резанием стабилизируется на уровне 0,06–0,08 мм/мин с минимумом при HV1800 и 85 % TiC. Такое поведение зависимости хорошо объясняется формированием структуры карбидного каркаса при содержании карбида титана 80–90 % в сплаве. Каркас из высокотвердых карбидов (по сравнению с карбидами, разделенными менее твердой связкой) оказывает значительно большее сопротивление изнашиванию (как резанием, так и абразивом).

В целом соблюдается закономерность: с уменьшением износа абразивом снижается износ резанием. Однако при износе абразивом более 10 мг (у сплава 70 % TiC – сталь X14Г10Т6) износ резанием резко «взлетает»: при близком износе абразивом 12 мг (у сплава 60 % TiC – сталь X14Г10Т6) увеличивается с 0,17 до 0,7 мм/мин. При уменьшении износа абразивом до 6,4 мг износ резанием плавно снижается до 0,06 мм/мин (до минимального уровня) при 85 % TiC в сплаве. Такой характер зависимости можно объяснить структурным преобразованием: при содержании около 80 % TiC в сплаве образуется карбидный каркас, который становится непрерывным по сечению сплава при 85–90 % TiC (рис. 5). Сложную корреляцию имеет износ резанием с износом абразивом (рис. 6).

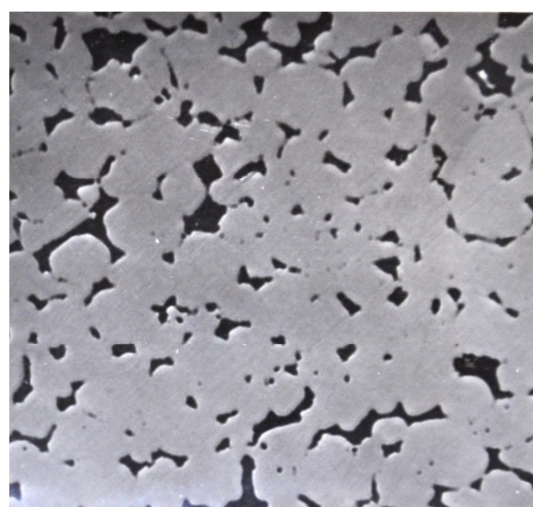
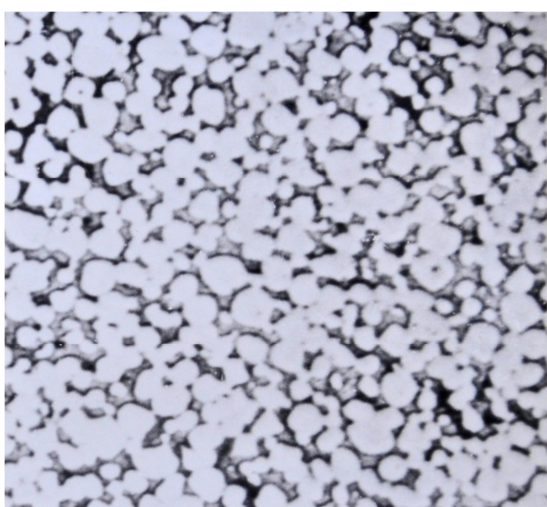


Рис. 5. Микроструктуры сплавов: а) 70 % TiC – сталь X14Г10Т6, × 1000; б) 90 % TiC – сталь X14Г10Т6, × 1000

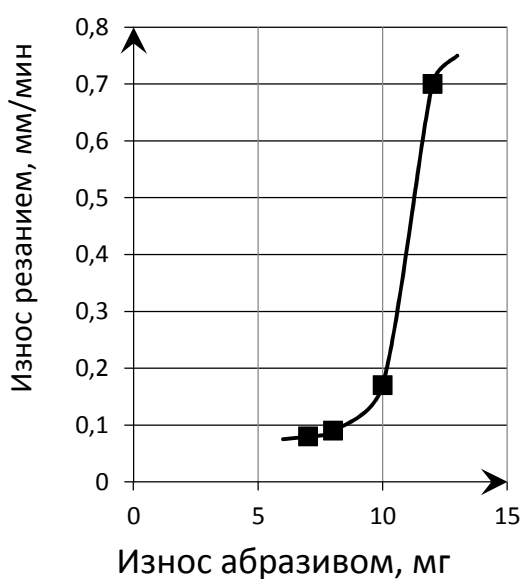


Рис. 6. Зависимость износа резанием от износа абразивом сплавов TiC – сталь X14Г10Т6

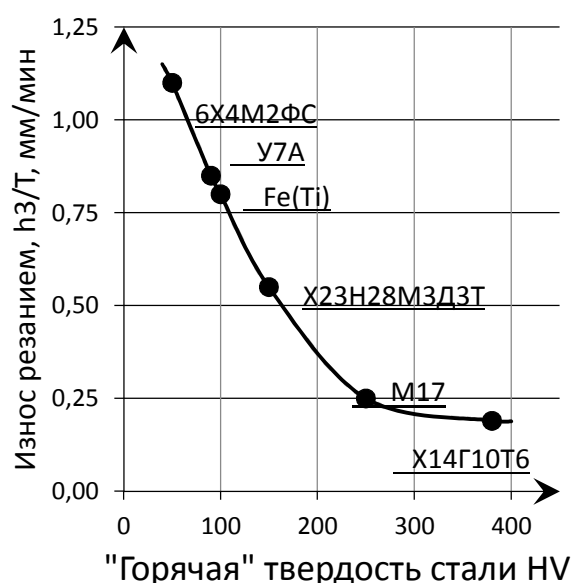


Рис. 7. Влияние «горячей твердости» на износ резанием

Как и предполагалось, первостепенное значение для повышения режущих свойств твердых сплавов на основе карбида титана имеет повышение теплостойкости связки. Сплавы на основе 70 % карбида титана с близкими значениями прочности при изгибе и твердости выстроились в закономерную линию со снижением износа резанием при повышении «горячей» твердости стали, использованной в качестве связки (рис. 7). Сталь Х14Г10Т6 имеет уникально высокую теплостойкость: «горячую» твердость HV320 при 880 °С [17], которая сохраняется в сплавах с карбидом титана [18].

Достигнутый относительно скромный уровень режущих свойств твердых сплавов на основе карбида титана со связкой из спецстали (типа Х14Г10Т6) внушает оптимизм, так как значительно превосходит все достигнутые ранее результаты (нами и другими авторами). Дальнейшее повышение режущих свойств до уровня стандартных сплавов (типа TiC – WC – Co) предполагается за счет оптимизации состава стальной связки, оптимизации состава карбидной фазы (в том числе с легированием другими карбидами), оптимизации технологии изготовления (от порошковых компонентов до спекания и нанесения покрытия).

Литература

1. Трент, Е. М. Резание металлов : перевод с английского / Е. Р. Трент. – Москва : Машиностроение, 1980. – 263 с.
2. Самсонов, Г. В. Тугоплавкие соединения. Справочник / Г. В. Самсонов, И. М. Веницкий. – Москва : Металлургия, 1976. – 560 с.
3. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : материалы XIII международной научно-технической конференции (Вологда, 27 марта 2018 г.). – Вологда, 2018. – С. 281–284.
4. Яняк, С. В. Анализ прочности твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Междисциплинарные исследования, современное состояние и перспективы развития : материалы XVI международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 27 апреля 2018 г.) / ИМПРУВ. – Екатеринбург, 2018. – С. 25–29.
5. Яняк, С. В. Анализ износостойкости твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Междисциплинарные исследования, современное состояние и перспективы развития : материалы XVI международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 27 апреля 2018 г.) / ИМПРУВ. – Екатеринбург, 2018. – С. 30–37.
6. Яняк, С. В. Анализ структуры спеченных твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Механика, оборудование, материалы и технологии : электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции (Краснодар, 29 марта 2018 г.). – Краснодар, 2018. – С. 273–282.
7. 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 научно-практической конференции (Пенза, 28–29 марта 2018 г.) – Пенза, 2018. – С. 210–214.
8. Комиссарова, И. И. Экспериментальная оценка и анализ износостойкости материалов / И. И. Комиссарова, С. В. Яняк, И. О. Берсенев // Вестник Вологодского государственного университета. – 2018. – № 2 (2). – С. 6–10.
9. 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 научно-практической конференции (Пенза, 28–29 марта 2018 г.). Часть 4. Технические науки / Пензенский ГУАиС. – Пенза, 2018. – С. 204–209.
10. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов на основе карбида титана с железо-молибденовой связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. – 2018. – № 1 (1). – С. 23–27.
11. Яняк, С. В. Анализ структуры и свойств твердых сплавов на основе карбида титана с железо-молибденовой связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 2 (4). – С. 22–26.
12. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка и анализ режущих свойств твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства: технология и надежность машин, приборов и оборудования : Материалы XIV Международной научно-технической конференции. – Вологда, 2020. – С. 78–81.
13. 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 научно-технической конференции. – Вологда, 2020. – С. 117–123.
14. Яняк, С. В. Режущие свойства твердых сплавов на основе карбида титана с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 3 (5). – С. 78–81.
15. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка и анализ режущих свойств твердых сплавов на основе карбида титана со стальными связками / С. В. Яняк, И. И. Комиссарова // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 2 (12). – С. 28–31.
16. Яняк, С. В. Режущие свойства твердых сплавов на основе карбида титана с железо-молибденовой связкой / С. В. Яняк, И. И. Комиссарова // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 3 (13). – С. 74–78.
17. Яняк, С. В. Анализ свойств и структуры специальной стали для связки в твердых сплавах на основе карбида титана / С. В. Яняк, И. И. Комиссарова // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : Материалы XV Международной научно-технической конференции (Вологда, 8 декабря 2020 г.). – Вологда : ВоГУ, 2021. – С. 47–52.

18. Яняк, С. В. Исследование теплостойкости твердых сплавов методом дифференциального термического анализа / С. В. Яняк, И. И. Комиссарова // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 1 (11). – С. 27–31.

19. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка и анализ свойств твердых сплавов на основе карбида титана со связкой из спецстали / С. В. Яняк, И. И. Комиссарова // Вестник Вологодского государственного университета. – 2022. – № 2 (16). – С. 86–91.

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

CUTTING PROPERTIES OF TUNGSTENLESS CARBIDES “TITANIUM CARBIDE – SPECIAL STEEL”

The paper made a brief analysis of the cutting properties of materials in terms of external influences on the cutting wedge of the tool and correlations with other properties of materials. A list of scientific papers devoted to the development of effective hard alloys based on titanium carbide with a steel bond is given. Particular attention is paid to the choice of the structure and composition of the steel binder. The sample fabrication technology and the technique for experimental evaluation of the mechanical and cutting properties of alloys are briefly described. Tests have shown that alloys containing 80–85 % TiC have the highest level of cutting properties, the rest is special steel. The analysis of experimental data confirmed the fundamentally important property of special steel - heat resistance. Directions for improving cutting hard alloys with a steel bond have been established.

Cutting properties, heat resistance, steel bond, titanium carbide, structure, carbide composition.



КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ

В статье предлагается методика экономического сравнения различных вариантов гибридных автомобилей. По предлагаемой методике можно определить оптимальную характеристику тяговой батареи гибридного автомобиля. Используя методику, можно сравнить разные типы автомобилей.

Гибридный автомобиль, выбор емкости тяговой батареи, Plug-In Hybrid.

Тяговая батарея – один из самых дорогих элементов электромобиля. Согласно данным специалистов BloombergNEF [1] стоимость хранения 1 кВт·ч электроэнергии в 2020 году составляла 137 \$.

Стоимость тяговой батареи для электромобиля можно оценить в сумму от 5500\$ (для батареи емкостью 40 кВт·ч) до 13000\$ (для батареи емкостью 95 кВт·ч). При этом некоторые эксперты [2] указывают еще более высокую стоимость тяговых батарей.

До санкций со стороны западных стран 2022 года стоимость только тяговой батареи составляла около 40–50 % от стоимости аналогичного по классу автомобиля с бензиновым двигателем, что делает электромобиль сопоставимого класса примерно на 30 % дороже. При этом сокращение емкости тяговой батареи (и стоимости) находится в обратной зависимости с другим важнейшим технико-эксплуатационным показателем – пробегом на одной зарядке.

Решение оптимизации проблем экологичности (выбросов CO₂), стоимости электромобиля и пробега на одной зарядке – в создании подключаемого гибридного автомобиля с характеристиками, обеспечивающими заданный показатель качества (минимальные затраты на приобретение, эксплуатацию, удобство/доступность пользования, воздействие на окружающую среду).

Все 4 показателя измеряются в разных физических значениях. Используя методику, можно выбрать оптимальную конфигурацию гибридного автомобиля и сравнить с чистым электромобилем.

1. Выбросы CO₂ измеряются в граммах на 100 км пробега.

2. Стоимость автомобиля выражается в денежных величинах.

3. Пробег на одной зарядке измеряется в километрах. Может быть выражен в потере времени (часов) на повторную зарядку при пробеге на дальние расстояния.

4. Экономия при работе на электроэнергии по сравнению с органическими топливами выражается в денежных величинах.

Таким образом, целевая функция определения параметров гибридного автомобиля примет вид:

$$O = f(\text{Экол, Цена, Время, Экспл}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где Экол – экологический эффект в денежном выражении при использовании сравниваемых автомобилей;

Цена – разница в стоимости сравниваемых автомобилей;

Время – потери времени за зарядку при использовании батарей разной емкости;

Экспл – разница в затратах на эксплуатацию сравниваемых автомобилей.

При выборе критических характеристик гибридного автомобиля или сравнения разных типов автомобилей оптимальным будет являться тот, у которого суммарные затраты (целевая функция 1) будут минимальны.

Для объединения в одной целевой функции все 4 показателя должны быть переведены в денежное выражение.

1. Выбросы CO₂. В нашей стране существует методика исчисления вреда, причиненного атмосферному воздуху [3–5]. Расчет по этой методике и нормативам позволит обоснованно оценить влияние экологического фактора, примененное в денежном выражении. Эти затраты не несет потребитель – владелец автомобиля. Поэтому критерий оптимальности должен учесть данный фактор в двух версиях – с ним и без него.

2. Стоимость автомобиля, влияющая на значение целевой функции минимизации издержек, складывается из стоимости (емкости) тяговой батареи и стоимости (мощности) двигателя внутреннего сгорания с генератором. Стоимость кузова, подвески, рулевого управления и пр. у сравниваемых типов автомобилей практически одинаковы и ими можно пренебречь. При сравнении автомобилей с ДВС и электромобилей дополнительно необходимо учитывать стоимость ДВС, трансмиссии и электромотора, управления.

Затраты на приобретение являются разовыми и выглядят на графике целевой функции как горизонтальная прямая. При этом разность в стоимости сравниваемых автомобилей должна быть дополнительно учтена в текущих затратах. Рекомендуется для более

дорогостоящего сравнимого варианта автомобиля учесть ежегодные дополнительные затраты, рассчитанные с условием возможного инвестирования разницы в стоимости и расчета дисконтированных потоков по формуле:

$$DI = \sum_{n=1}^n \frac{\Delta I}{(1+r)^n}, \quad (2)$$

где ΔI – разница в инвестициях рассматриваемых вариантов, руб.;

i – расчетный год;

r – ставка дисконтирования. Рекомендуется взять ставку рефинансирования Центрального Банка РФ.

3. Для учета в целевой функции пробега на одной зарядке следует определить вероятность работы подключаемого гибридного автомобиля на электротяге и переход на энергию сгораемого в ДВС топлива. Очевидно, что при пробегах на малые расстояния автомобиль полностью работает на энергии, запасенной в тяговых батареях в режиме 100 % электромобиля. При пробегах на значительные расстояния и выработке запасов электроэнергии тяговых батарей (суперконденсаторов) автомобиль переходит в режим работы на ДВС. Вероятности (доли пробега) на электротяге/ДВС зависят от емкости батарей и режимов эксплуатации автомобиля. Суточные пробеги должны быть детально изучены для населенных пунктов разных размеров.

Для перевода долей пробега на использовании энергии батарей/ДВС в денежное выражение необходимо воспользоваться формулой:

$$Z_{\text{время}} = \frac{P_{\text{ДВС}} \cdot L_{\text{год}} \cdot S_{\text{час}}}{V_{\text{расч}}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{ДВС}}$ – доля работы гибридного автомобиля на ДВС;

$L_{\text{год}}$ – годовой пробег автомобиля, км. Берется из анализа эксплуатационных показателей для расчетных населенных пунктов;

$V_{\text{расч}}$ – расчетная скорость при пробеге на ДВС, км/ч. При включении ДВС на загородной дороге 80–100 км/ч; при движении в городских условиях 14–20 км/ч;

$S_{\text{час}}$ – средняя часовая ставка оплаты работников.

4. Сравнение годовых затрат на топливо/электроэнергию при сравнении рассматриваемого гибридного автомобиля с электромобилем определяется по формуле:

$$Z_{\text{топл}} = \frac{P_{\text{ДВС}} \cdot ((N_{\text{бенз}} \cdot C_{\text{бенз}}) - (N_{\text{эл}} \cdot C_{\text{эл}})) \cdot L_{\text{год}}}{100}, \quad (4)$$

где $N_{\text{бенз}}$ – норма расхода ископаемого топлива, литров (кг, м³)/100 км;

$C_{\text{бенз}}$ – стоимость топлива ископаемого происхождения, руб/литр (кг, м³);

$N_{\text{эл}}$ – норма расхода электроэнергии, кВт·ч/100 км;

$C_{\text{эл}}$ – стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч.

При сравнении электромобиля с автомобилем с ДВС доля работы на ископаемом топливе ($P_{\text{ДВС}}$) принимается равной 1.

Кроме разности в стоимости энергии, расходуемой на движение автомобиля, необходимо учитывать еще один фактор. Тяговая батарея имеет ограниченный ресурс, существенно меньше, чем ресурс автомо-

биля. Это значит, что за весь срок службы автомобиля владельцам потребуется поменять и дорогостоящий блок тяговых батарей. Ресурс тяговой батареи исчисляется в циклах заряда/разряда. Очевидно, что при равных пробегах автомобиль, имеющий меньшую емкость батареи, быстрее исчерпает ресурс. Средние годовые затраты на обновление тяговых батарей определяются по формуле:

$$Z_{\text{батар}} = \frac{N_{\text{эл}} \cdot L_{\text{год}} \cdot R \cdot C_{\text{бат}}}{100 \cdot Q}, \quad (5)$$

где R – ресурс батареи в циклах;

$C_{\text{бат}}$ – цена батареи, руб.;

Q – емкость батареи, кВт·ч.

Так как цена батареи напрямую зависит от ее емкости, а удельная стоимость батареи ($S_{\text{бат}}$) известна, то формула (5) примет вид:

$$Z_{\text{батар}} = \frac{N_{\text{эл}} \cdot L_{\text{год}} \cdot R \cdot S_{\text{бат}}}{100}, \text{ руб/год.} \quad (6)$$

Минимальное значение целевой функции 1 для различных вариантов позволит определить оптимальный вариант главной характеристики гибридного автомобиля – емкости батареи. Параллельно можно рассчитать варианты использования суперконденсаторов вместо батареи.

Окончательным результатом расчетов может стать сравнение оптимальных вариантов гибридного подключаемого автомобиля с батареей, суперконденсаторами, чистого электромобиля и базового автомобиля с ДВС.

Литература

1. Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh. – URL: about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/ (дата обращения: 10.10.2022) – Текст : электронный.

2. Когда электромобили сравняются по стоимости с бензиновыми машинами. – URL: trashbox.ru/link/when-electric-cars-will-be-cost-like-ordinary-cars (дата обращения: 10.10.2022). – Текст : электронный.

3. Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды (утвержден Распоряжением Правительства РФ от 8 июля 2015 г. № 1316-р). – URL: www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71026758/ (дата обращения: 10.10.2022) – Текст : электронный.

4. Методика исчисления размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды приказом Минприроды России от 28 января 2021 года № 59. – URL: docs.cntd.ru/document/573536168 (дата обращения: 10.10.2022) – Текст : электронный.

5. О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах : Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 (редакция от 24.01.2020). – URL: www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/ (дата обращения: 10.10.2022) – Текст : электронный.

A.V. Vostrov
Vologda State University

OPTIMIZATION CRITERION FOR DETERMINING HYBRID CAR CHARACTERISTICS

The article proposes a methodology for economic comparison of various hybrid car variants. According to the proposed methodology, it is possible to determine the optimal characteristics of the traction battery of a hybrid car. Using the methodology, you can compare different types of cars.

Hybrid car, selecting the capacity of the traction battery, plug-in hybrid.



П.И. Смирнов¹, Махди Юсефи Неджад Аттари²
¹Вологодский государственный университет,
²Исламский университет Азад

ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ГАБАРИТА ПАССАЖИРА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОГО ГОРОДСКОГО ДВИЖЕНИЯ

Цель работы – уточнение применяемого показателя «динамического габарита транспортного средства», характеризующего размер участка городской улицы, занимаемого автомобилем при его движении. Данный показатель напрямую влияет на величину «динамического габарита пассажира». В случае относительно свободного движения транспорта в межпиковое время и при движении в час пик, показатели достаточно сильно меняются из-за изменения средней скорости, замедления при торможении и дистанции между автомобилями. Для приведенных случаев рассчитаны удельные величины затрат энергии, времени движения и финансовых затрат на перемещение условного пассажира разными видами транспорта: автомобиль, автобус на традиционном топливе, троллейбус, электробус, велосипед и электрический самокат. Определен общий вклад в загрязнение окружающей среды при текущей структуре транспортного потока и выполнен прогнозный расчет при его изменении с увеличением доли электротранспорта. Полученная уточненная математическая модель затрат энергии на перемещение одного пассажира с уточненными переменными позволяет прогнозировать эффект от изменения структуры транспортного потока и его характеристик для оценки перспективных подходов снижения затрат энергии на транспорте и улучшения экологической ситуации.

Автобусы, моделирование трафика, энергоэффективность транспорта, автономные транспортные средства.

Задача снижения углеродного следа, уменьшения зависимости от невозобновляемых источников энергии и дальнейшего увеличения экологической безопасности транспорта в современном понимании не имеет иного результативного решения, кроме как резкое увеличение доли электрифицированного транспорта. В 2020 году по всему миру было продано свыше 3 млн новых электромобилей (EV), включая как легковые автомобили, так и грузовые и автобусы. При этом относительно 2019 года рост составил порядка 41 %. В общем объеме количество электромобилей составляет 4,6 %. Сложившейся тенденции роста числа EV во всех сферах транспорта способствуют весьма значимые причины: снижение фискальной нагрузки при приобретении данной техники, дотации от государства, уменьшение операционных затрат [1]. С точки зрения реализации стратегии устойчивого транспортного развития городов и агломераций эти масштабные изменения должны повлечь за собой пропорциональное снижение выбросов токсичных веществ и твердых частиц и уменьшение числа экологических проблем от эксплуатации транспортных средств [2]. Однако стоит отметить, что вызывают вопросы как сам процесс перехода на электротранспорт, так и оценка эффективности его использования [3, 17]. Подавляющая доля приобретаемых EV концентрируется в странах западной Европы и США. Так, на 2020 год в Норвегии почти 55 % продаваемых автомобилей составили EV и 20,4 % – гибридные автомобили. Успехи развивающихся стран в этом процессе не так значительны – в том же 2020 году в России было продано всего 687 новых EV, что хоть и выше на 95 % по сравнению с продажами в 2018 году,

но составляет не более чем 0,04 % от общего объема продаж автомобилей в этой стране. При этом в Москве на февраль 2022 года на 68 маршрутах работало чуть более 1000 электробусов. По этому показателю столица России занимает лидирующую позицию. Все же стоит отметить, что в общем итоге электрификация транспорта развивающихся стран мира (Россия, Иран, Индия и Китай) идет по достаточно консервативному сценарию и это не может не внушать беспокойство. Отдельная проблема – это внедрение электротранспорта в существующую транспортную систему крупных городов, изначально спланированную под традиционный транспорт, переживающую резкий рост автомобилизации населения и острый недостаток финансирования инфраструктурных проектов.

В рамках крупных городов со сложившейся дорожной инфраструктурой и плотно застроенными историческими центрами, включающими в себя относительно узкие улицы и отсутствие возможности строительства скоростных магистральных дорог, эксплуатация электробусов и EV вызывает ряд вопросов эффективности их использования и итоговых энергозатрат. Дело здесь в высокой плотности движения в часы пик и наличии устаревшей дорожной инфраструктуры индустриальной эпохи, способствующей образованию и распространению дорожных заторов [4]. При принятии управленческих решений в рамках изменения транспортной стратегии в таких городах решения принимаются без достаточного обоснования и необходимых расчетов, при этом ожидаемый эффект от их эксплуатации не оценен. В работе [5] был рассмотрен вариант использования электробусов на су-

существующих маршрутах общественного транспорта в Brunei, при этом стоимость эксплуатации электробусов оказалась существенно выше, чем у дизельных автобусов. Авторы показали, что лишь введение государственных субсидий на приобретение, уменьшение субсидирования покупки дизельного топлива и введение налога на покупку автобусов на традиционном топливе смогут обеспечить сравнимые удельные затраты при эксплуатации электробусов. Отдельное внимание заслуживает отсутствие приемлемого экологического эффекта от их работы ввиду существующей структуры источников выработки электроэнергии в Brunei. В это же время моделирование работы электробусов в 4 городах Испании [6] наглядно показало увеличение выбросов CO₂ на 60 % за жизненный цикл и увеличение стоимости жизненного цикла на 30 % по сравнению с дизельным вариантом. Именно на необходимость спланированной и научно обоснованной государственной политики по внедрению электробусов в транспортную систему указывают авторы работы [7], при этом приводится пример стандартизации подхода к определению стоимости жизненного цикла электробусов в Malaysia. Именно проблемы внедрения электробусов в существующих системах общественного транспорта привели к всплеску внимания к уже утратившим популярность в ряде стран Восточной Европы троллейбусам. Работа [8] посвящена установлению путей дальнейшего совершенствования опыта применения троллейбусов с технологиями автономной работы для конкуренции их с электробусами. Сама постановка вопроса, наряду с исследованием [9], говорит о неоднозначности применения электробусов именно в свете потенциального снижения выбросов CO₂ и необходимости тщательной оценки эффективности их применения. Авторы [10] называют основные критерии применения электробусов как общественного транспорта с низким/нулевым уровнем выбросов (UPT), такие как: устойчивое экономическое развитие, постиндустриальный характер экономики города, высокий человеческий потенциал жителей. При этом само применение UPT заявляется в том числе как инструмент повышения статуса города и результат применения политики опережающего развития.

Наибольший интерес представляют работы, посвященные глубокому анализу как структуры и величин затрат на эксплуатацию автобусов различных типов, так и оценке потенциального экологического эффекта их применения. Так, в работе [11] проанализирован жизненный цикл автобусов на сжатом природном газе, электробусов и дизельных автобусов, эксплуатируемых в Qatar. Исследование показало, что электробусы имеют чуть худшие результаты по величине затрат на протяжении всего жизненного цикла, однако лучшие экологические показатели по сравнению с автобусами на сжатом природном газе. Стоит отметить, что основная часть электроэнергии в Qatar производится за счет сжигания природного газа. Более детальное исследование эффективности применения электробусов с точки зрения обеспечения минимального расхода заряда аккумуляторных батарей привели авторы работы [12]. В ней был установлен оптимальный диапазон скоростей движения в 11–18 км/ч для уменьшения расхода заряда батареи,

при этом исследование наглядно показало, что наибольшее снижение длительности пробега на одной зарядке дает неустойчивый режим движения. Разница в расходе энергии достигала 19 %.

Именно проблема реалистичной оценки выбросов CO₂ на всех стадиях жизненного цикла электробусов с учетом прямых и косвенных выбросов поднималась в работе [13], при этом обсуждается экономический эффект электрификации автобусов и последующий углеродный след от этих мероприятий в Масан. Авторами работы предлагается новая методология оценки углеродной ценности электрификации автобусов в течение жизненного цикла (OLCVBE). Показано, что наибольшее влияние на OLCVBE оказывает величина выбросов при выработке электроэнергии, потребление электроэнергии, зависящее от скорости, количества остановок электробусов и т.д., и менее важным параметром является годовой пробег техники. При этом была продолжена идея исследований по экологической составляющей перевода автобусов на электропривод с учетом оценки стоимости углеродных активов [14] на примере Пекина (Китай). В целом авторами статьи подчеркивается мысль о необходимости использования как методологии перехода на электробусы от автобусов на традиционном топливе, так и оценки потенциального изменения углеродного следа в этот период. Показательна оценка изменения выбросов при электрификации автобусов в Greater Houston Area (USA) в работе [15]. При этом показано, что выбросы GHGs, VOCs, NOx и сажи для электробусов существенно ниже, чем для дизельных и гибридных автобусов, при этом выбросы PM10, PM2.5, SOx, N₂O и сажи в случае электробусов выше. Этот пример показателен тем, что в регионе исследований порядка 50 % электроэнергии производится за счет сжигания природного газа, в то время как в [11] это основной источник. В любом случае обе указанные работы подчеркивают далеко неоднозначную ситуацию по уменьшению выбросов в атмосферу при электрификации парка автобусов, хотя логичен вывод о необходимости постепенного замещения «грязных» источников электроэнергии на альтернативные «зеленые».

Исследователи [16] подчеркивают, что применение электробусов в реальных условиях эксплуатации с частыми перегрузками приводит к резкому увеличению потребления электроэнергии и соответственно к снижению экологических показателей. В работе установлены величины энергопотребления электробусами в диапазоне от 1,7 до 4,1 кВт·ч/км для BEB12 и от 1,2 до 2,9 кВт·ч/км для BEB10 (т.е. при длине транспортного средства 12 и 10 м) соответственно при всех условиях эксплуатации (т.е. 18 различных моделей) при средней скорости, массе загрузки и использовании кондиционера. Разброс значений порядка 300 % пропорционально влияет на величины выбросов (CO₂) и загрязнение воздуха. При этом показано, что снижение выбросов CO₂ и PM2,5 не произошло бы при условии использования электроэнергии от угольных электростанций. Одним из вариантов выхода из ситуации было бы применение транзитных автобусов, продемонстрированное в работе [18], которые позволили добиться величины выбросов 0,23–19,7 г CO₂ на 1 пассажиро-километр. Однако данный вариант мо-

жет быть использован как целевой показатель при эксплуатации городских электробусов, но не как действующая методика применения. Соответственно, в работе [19] классифицируются подходы к оценке энергопотребления электробусов и подчеркивается необходимость внедрения различных методов для автобусных парков крупных и малых по численности населения городов. Также указано на приоритетность в современных исследованиях методологии оценки величины энергопотребления по методу well-to-wheel (WTW), т.е. от скважины до колеса.

В рамках исследования произведен сбор информации по параметрам движения транспортных и пассажирских потоков в Вологде по участку одной из магистральных улиц, соединяющих жилой район с центром города. На основе полученных экспериментальных данных была скорректирована имеющаяся математическая модель «динамического габарита транспортного средства» и на основе ее получена уточненная модель «динамического габарита пассажира». Полученные модели позволили на основе имеющихся в свободном доступе данных по энергозатратам на движение электробусов, троллейбусов и традиционных транспортных средств получить сведения о влиянии характеристик транспортного потока и его структуры на итоговый экономический и экологический эффект при перемещении населения в рамках ежедневных регулярных поездок. Понимание механизмов связи данных показателей может стать основой для принятия взвешенных и обоснованных решений в области приобретения электротранспорта

и политики перехода к стратегии устойчивого транспортного развития крупных и исторических индустриальных городов [5].

Экспериментальные исследования были проведены в сентябре 2021 года в Вологде, Россия. Население города – 312 000 жителей, автомобилизация порядка 104 000 автомобилей, площадь города 116 км². Для контроля транспортного потока был выбран маршрут длиной 2,3 км по магистральной улице Чернышевского, связывающей большой жилой район с центром города (рис. 1). Измерения проводились в 2 этапа. 1 этап – в будние дни в межпиковое время с 14:00 до 15:00, 2 этап – в вечерний час пик с 17:30. до 18:30.

Продолжительность снятия данных – 5 дней, с понедельника по пятницу. Данные по интенсивности движения автомобилей, автобусов и пешеходов были получены с помощью визуального наблюдения по камерам Vaza.net, внедряемой в настоящее время в городе интеллектуальной транспортной системы (ITS) и данных сервера слежения за общественным транспортом Yandex, данные о количестве пассажиров общественного транспорта с помощью усреднения по данным визуального наблюдения и статистическим данным перевозчиков. Количество велосипедистов и пешеходов определено в ходе непосредственного мониторинга камер наблюдения. Величины затрат энергии на движение электробусов использованы из [7, 8], для троллейбусов взяты данные эксплуатации городского транспортного предприятия, данные о скорости движения усреднены по значениям, полученным от детекторов транспорта ITS.

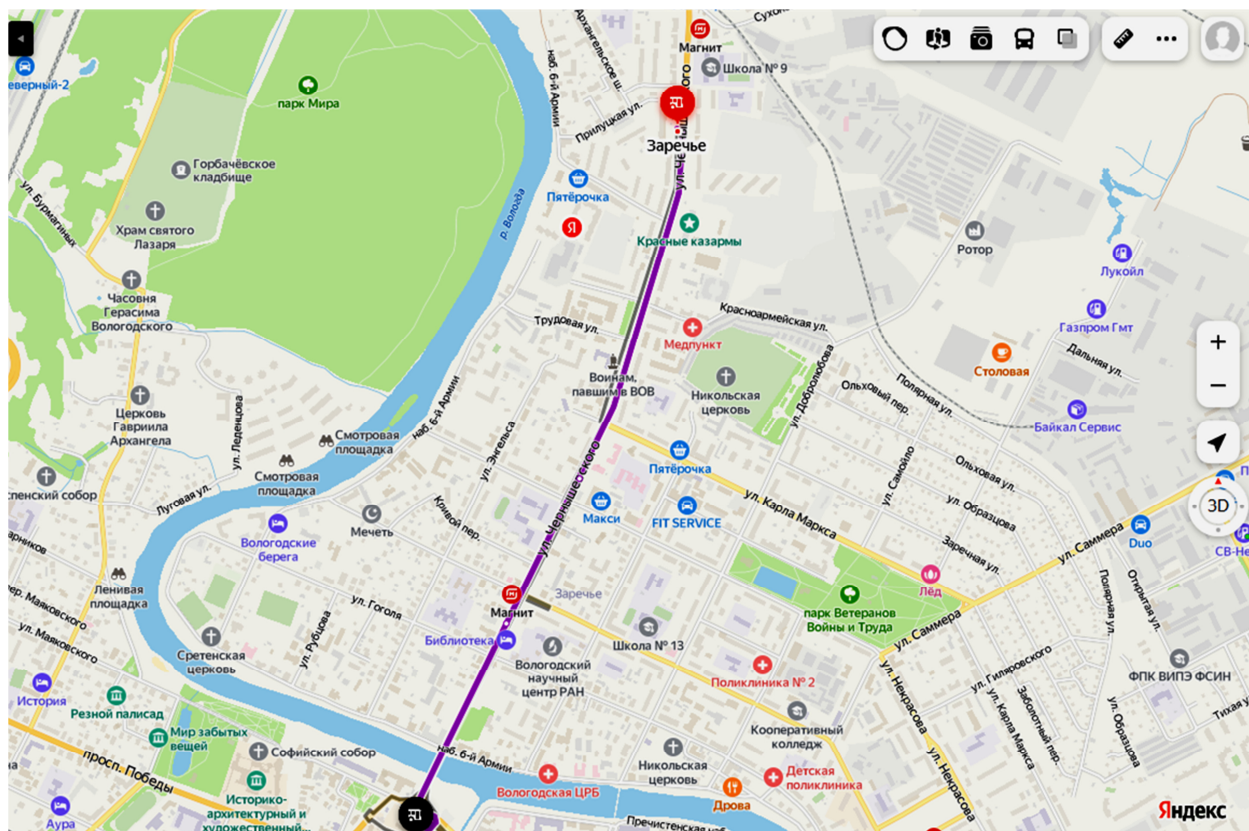


Рис. 1. Схема изучаемого маршрута

Результаты исследования состава транспортного потока по указанному маршруту, интенсивности движения и объему перевезенных пассажиров приведены в таблицах 1–2.

Таблица 1

Данные транспортного потока (будние дни в межпиковое время с 14:00 до 15:00)

Участники	Показатели перевозки		
	Среднее количество за час	Пассажиров всего	Средняя скорость, км/ч
Пешеходы	72	72	4
Велосипеды/самокаты	24	24	14
Автомобили	1526	2075	24
Автобусы	18	450	14
Троллейбусы	6	150	12
Итого	1716	2771	-

Таблица 2

Данные транспортного потока в час пик (с 17:30 до 18:30)

Участники	Показатели перевозки		
	Среднее количество за час	Пассажиров всего	Средняя скорость, км/ч
Пешеходы	152	152	4
Велосипеды/самокаты	32	32	14
Автомобили	1316	1711	12
Автобусы	8	200	8
Троллейбусы	2	50	6
Итого	1510	2145	-

Указанные в таблицах 1–2 данные по наполняемости автобусов и троллейбусов были рассчитаны исходя из полученной средней загрузки транспортных средств в 25 человек (обработанные результаты с терминалов продажи билетов), наполняемость легкового автомобиля была принята в 1,3 человека в легковом автомобиле по данным визуального наблюдения. При подсчете количества автомобилей грузовые автомобили категории N1 приравнены к легковым автомобилям, а N2 и N3 игнорировались в виду малого количества на этом участке, автобусы были приравнены к одному классу M3.

Н.В. Якунина [20] предложила на базе известного понятия «динамического габарита транспортного средства», определяющего длину улицы, занимаемую транспортным средством, использовать показатель «динамического габарита пассажира». Введение данного показателя позволяет оценить загрузку дорожной сети при том или ином способе перевозки пассажира.

Величина L_{pass} «динамического габарита пассажира» определяется по формуле (2) при использовании показателя L_d «динамического габарита транспортного средства» (1) в случае плотного городского движения при использовании безопасной дистанции между движущимися транспортными средствами в размере габаритной длины:

$$L_d = V \cdot T + V^2 / (2J) + 2L_c, \text{ м}, \quad (1)$$

где V – скорость автомобиля, м/с;

T – время реакции водителя, с;

J – замедление при экстренном торможении, м/с²;

L_c – длина автомобиля, м.

$$L_{pass} = L_d / (\gamma q), \text{ м}, \quad (2)$$

где V – скорость автомобиля, м/с;

γ – число мест в транспортном средстве;

q – коэффициент загрузки.

В случае движения в час пик расстояние между транспортными средствами в потоке снижается до величины меньше габаритной длины транспорта с одновременным снижением величин скорости и замедления при торможении, что приводит к серьезному изменению значений этих показателей.

Результаты расчета показателей «динамической длины пассажира» для обоих случаев движения по анализируемому маршруту приведены в таблицах 3–4. В таблицах 5–6 приведены результаты расчета времени прохождения маршрута для каждого вида транспорта/участника движения, данные о стоимости проезда по маршруту приведены по данным сервиса Yandex для такси, стоимости проезда в городском общественном транспорте и усредненным данным по эксплуатации легковых автомобилей в городских условиях рассчитанным по методологии [21].

Таблица 3

Расчетные показатели (будние дни в межпиковое время с 14:00 до 15:00)

Участники	Показатели расчетные		
	Динамический габарит пассажира L_{pass} , м	Динамический габарит участника $L_{d,m}$	Время прохождения маршрута с учетом ожидания, ч
Пешеходы	-	-	0,43
Велосипеды/самокаты	6,5	6,5	0,2
Автомобили	11,7	15,2	0,13
Автобусы	1,89	47,21	0,47
Троллейбусы	1,88	46,98	0,55
Итого	1716	2771	-

Далее для каждого вида транспорта был определен примерный вклад в энергопотребление и загрязнение атмосферного воздуха и получены усредненные удельные значения этих факторов на одного перевозимого пассажира по данным [7, 8].

Таблица 4

Расчетные показатели (вечерний час пик в будний день с 17:30 до 18:30)

Участники	Показатели расчетные		
	Динамический габарит пассажира L_{pass} , м	Динамический габарит участника $L_{d,m}$	Время прохождения маршрута с учетом ожидания, ч
Пешеходы	-	-	0,43
Велосипеды/самокаты	6,5	6,5	0,2
Автомобили	8,97	11,66	0,3
Автобусы	1,84	46,11	0,61
Троллейбусы	1,84	45,91	0,68
Итого	1716	2771	-

Стоимость проезда (непосредственный тариф за перевозку и условные затраты, приведенные в случае эксплуатации личного автомобиля) приведены в таблице 5.

Таблица 5

Расчетные показатели (вечерний час пик в будний день с 17:30 до 18:30)

Участники	Тариф на перевозку/условная стоимость проезда по маршруту, руб.
Пешеходы	-
Велосипеды/самокаты	-
Автомобили	62
Автобусы	28
Троллейбусы	28
Такси Yandex	День – 96, вечер (час пик) – 245 (тариф динамический)

Применение подхода [20] позволило на основе полученных экспериментальных данных наблюдения за разнородным транспортным потоком получить расчетные характеристики величин динамических

габаритов транспорта и отдельных пассажиров в различных видах транспорта в условиях городского движения. Нахождение указанных величин для случая плотного городского движения в час пик позволило проследить динамику изменения этих показателей при резком изменении режимов движения – падении средней скорости движения и уменьшения дистанции до ближайшего автомобиля. Характеристики потока пассажиров на исследуемом маршруте приведены в таблице 6 и на рисунках 2 и 3.

Таблица 6

Поток пассажиров на исследуемом маршруте в %

Участники	% от общего объема в межпиковое время	% от общего объема в час пик
Пешеходы	5	7
Велосипеды/самокаты	2	2
Автомобили	46	80
Автобусы	35	9
Троллейбусы	12	2
Итого	100	100



Рис. 2. Распределение пассажиров по видам транспорта в межпиковое время

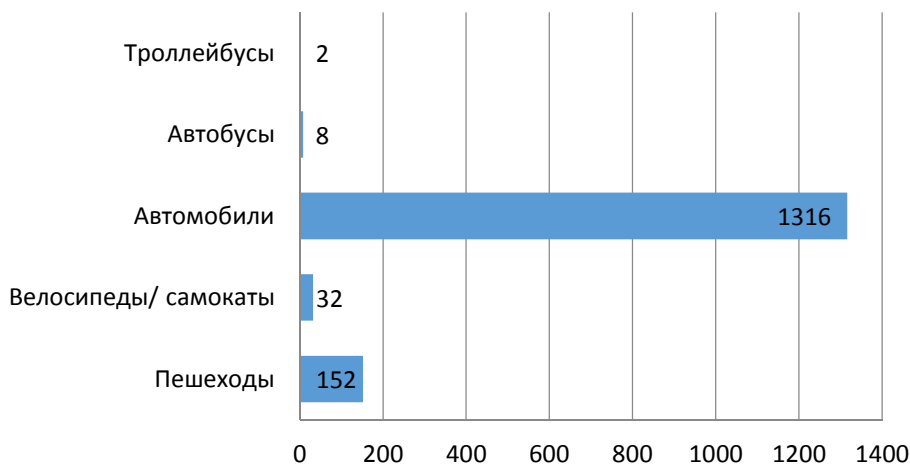


Рис. 3. Распределение пассажиров по видам транспорта в час пик

Расчетные данные показывают, что динамический габарит пассажира при переходе от относительно свободного движения в случае межпикового времени к движению в плотном потоке транспорта в час пик изменяется для автобусов и троллейбусов всего на 2 %, в то время как для легковых автомобилей – на 23 % (в сторону уменьшения). Это происходит из-за резкого снижения дистанции между движущимися автомобилями, не смотря на общее снижение скорости движения. Автобусы и троллейбусы таким потенциалом не обладают, так как для них и так характерны невысокие относительно легковых автомобилей скорости движения и их большая вместимость нивелирует происходящие изменения при переходе к движению в плотном потоке. С другой стороны, данные наглядно показывают существенное изменение структуры потока пассажиров по видам транспорта при переходе ко второму режиму движения – плотный поток в час пик. При этом наряду со значительным (23 %) снижением общего количества людей, перемещающихся по этому маршруту в единицу времени (час), мы отмечаем резкое снижение пассажиров, перевозимых автобусами и троллейбусами – 56 % и 67 % соответственно. Это связано с тем, что в плотном потоке легковых автомобилей и при отсутствии на данном маршруте выделенных полос для общественного транспорта, последний существенно замедляется и не может выполнять требуемой периодичности движения. В час пик общее количество автобусов и троллейбусов на маршруте упало с 24 до 10 штук в час.

Литература

1. Critical Raw Materials and Transportation Sector Electrification: A Detailed Bottom-Up Analysis in World Transport / Nache E., Seck G. S., Simoen M. [et al.] // *Applied Energy*. – 2019. – Vol. 240. – PP. 6–25.
2. Vehicular Traffic Management Based on Traffic Engineering for Vehicular Ad Hoc Networks / D. L. Guidoni, G. Maia, F. S. H. Souza [et al.] // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – PP. 45167–45183.
3. Gonzalez, R. A. Government and Governance in Intelligent Cities, Smart Transportation Study Case in Bogotá Colombia / R. A. Gonzalez, R. E. Ferro & D. Liberona // *Ain Shams Engineering Journal*. – 2020. – Vol. 11, no. 1. – PP. 25–34.
4. A Simple Contagion Process Describes Spreading of Traffic Jams in Urban Networks / M. Saberi, H. Hamedmoghdam, M. Ashfaq [et al.] // *Nature Communications*. – 2020. – Vol. 11, no. 1.
5. Techno-Economic Analysis and Environmental Impact of Electric Buses / N. K. Yusof, P. E. Abas, T. M. I. Mahlia & M. A. Hannan // *World Electric Vehicle Journal*. – 2021. – Vol. 12, no. 1.
6. Life Cycle CO₂ Footprint Reduction Comparison of Hybrid and Electric Buses for Bus Transit Networks / A. García, J. Monsalve-Serrano, R. Lago Sari & S. Tripathi // *Applied Energy*. – 2022. – Vol. 308.
7. Electric Buses in Malaysia: Policies, Innovations, Technologies and Life Cycle Evaluations / A. S. Al-Ogaili, A. Q. Al-Shetwi, T. S. Babu [et al.] // *Sustainability (Switzerland)*. – 2021. – Vol. 13, no. 21.
8. Potom, M. Technology Development and Spatial Diffusion of Auxiliary Power Sources in Trolleybuses in European Countries / M. Potom // *Energies*. – 2021. – Vol. 14, no. 11.
9. Barttomiejczyk, M. Possibilities for Developing Electromobility by Using Autonomously Powered Trolleybuses Based on the Example of Gdynia / M. Barttomiejczyk & M. Potom // *Energies*. – 2021. – Vol. 14, no. 10.
10. The Second Generation Electromobility in Polish Urban Public Transport: The Factors and Mechanisms of Spatial Development / R. Guzik, A. Kotoś, J. Taczanowski, [et al.] // *Energies*. – 2021. – Vol. 14, no. 22.
11. Dynamic EV Charging Pricing Methodology for Facilitating Renewable Energy with Consideration of Highway Traffic Flow / S. Zhou, W. Gu, Y. Qiu [et al.] // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – PP. 13161–13178.
12. Understanding the Energy Consumption of Battery Electric Buses in Urban Public Transport Systems / S. Wang, C. Lu, C. Liu [et al.] // *Sustainability (Switzerland)*. – 2020. – Vol. 12, no. 23. – PP. 1–12.
13. Xu, X. Operational Lifecycle Carbon Value of Bus Electrification in Macau / X. Xu & L. Han // *Sustainability (Switzerland)*. – 2020. – Vol. 12, no. 9.
14. Xu, X. Carbon Asset of Electrification: Valuing the Transition from Fossil Fuel-Powered Buses to Battery Electric Buses in BEIJING / X. Xu, X. Lv & L. Han // *Sustainability (Switzerland)*. – 2019. – Vol. 11, no. 10.
15. Du, H. Environmental Sustainability of Public Transportation Fleet Replacement with Electric Buses in Houston, a Megacity in the USA / H. Du & R. R. Kommalapati // *International Journal of Sustainable Engineering*. – 2021. – Vol. 14, no. 6. – PP. 1858–1870.
16. Energy Consumption and Well-To-Wheels Air Pollutant Emissions of Battery Electric Buses under Complex Operating Conditions and Implications on Fleet Electrification / X. He, S. Zhang, W. Ke // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 171. – PP. 714–722.
17. Rodrigues, A. L. P. Battery-Electric Buses and their Implementation Barriers: Analysis and Prospects for Sustainability / A. L. P. Rodrigues & S. R. C. Seixas // *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. – 2022. – Vol. 51.
18. Occupancy and GHG Emissions: Thresholds for Disruptive Transportation Modes and Emerging Technologies / A. Soukhov & M. Mohamed // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. – 2022. – Vol. 102.
19. Review of the Estimation Methods of energy Consumption for Battery Electric Buses / A. S. Al-Ogaili, A. Q. Al-Shetwi, H. M. K. Al-Masri // *Energies*. – 2021. – Vol. 14, no. 22.
20. Modeling of the Structure of Passenger Traffic Flows Using the Indicator of the Dynamic Passenger Size / N. V. Yakunina, D. H. Nurgaliev, S. V. Logachev, D. S. Mukhamedov // *Intelligence. Innovations. Investment*. – 2015. – № 4. – PP. 140–145.
21. Smirnov, P. I. On the Issue of Choosing the Optimal Model of Rolling Stock Based on Forecasting the Values of Operating Costs / P. I. Smirnov // *Journal "AGZK + AT"*. – 2018. – Vol. 17, No. 9. – PP. 416–419.

**CHANGE IN VALUE OF PASSENGER DYNAMIC DIMENSION
FOR VARIOUS MODES OF TRANSPORT IN CONDITIONS OF DENSE URBAN TRAFFIC**

The purpose of the work is to clarify the applied indicator of the “dynamic dimension of the vehicle” characterizing the size of the section of the city street occupied by the car when it is moving. This indicator directly affects the value of the “dynamic passenger size”. In the case of relatively free traffic during inter-peak times and during rush hour traffic, the indicators vary quite a lot due to changes in average speed, deceleration during braking and distance between cars. For the above cases, the specific values of energy costs, travel time and financial costs for the movement of a conditional passenger by different modes of transport are calculated: a car, a bus on traditional fuel, a trolleybus, an electric bus, a bicycle and an electric scooter. The total contribution to environmental pollution is determined for the current structure of the traffic flow and a predictive calculation is made when it changes with an increase in the share of electric transport. The obtained refined mathematical model of energy costs for the movement of one passenger, with refined variables, makes it possible to predict the effect of changing the structure of the traffic flow and its characteristics in order to assess promising approaches to reduce energy costs in transport and improve the environmental situation.

Buses, traffic modeling, energy efficiency of transport; autonomous vehicles.



П.И. Смирнов, П.Е. Смирнов
 Вологодский государственный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В РАМКАХ ФИРМЕННОЙ СИСТЕМЫ КОРРЕКТИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТО

В современных условиях все большее количество производителей грузовых автомобилей и специальной строительной и сельскохозяйственной техники применяют вместо системы технического обслуживания с жестко установленными интервалами по пробегу или работе техники в часах новые Computerized Maintenance Management System (CMMS). Последние позволяют применять индивидуально настраиваемые системы технического обслуживания техники, определяющие интервалы обслуживания в зависимости от реальной нагрузки на технику и условий ее эксплуатации. В работе проанализированы данные по 22 единицам грузовых автомобилей Mercedes-Benz Arocs и Mercedes-Benz Actros на протяжении 180–250 тыс. км пробега и проведению сервисных обслуживаний на них, показаны интервалы обслуживания, проанализировано влияние условий эксплуатации.

Грузовой автомобиль, интервал технического обслуживания, условия эксплуатации, интеллектуальная система управления интервалами технического обслуживания.

Важность системы технического обслуживания коммерческой грузовой и специальной техники не подвергается сомнению [1, 2]. В настоящих условиях при наличии серьезных угроз дальнейшего развития трендов на экологический зеленый переход в области использования и применения альтернативных источников энергии [3], нарастающих диспропорций при добыче, транспортировке и использовании традиционных видов топлива, увеличении доли эксплуатационных затрат при перевозках грузов автомобильным транспортом вопрос последовательного изменения подходов в организации Fleet Management System становится одной из приоритетнейших задач [4, 5].

С февраля 2022 года система мониторинга транспорта RoadStream устанавливается на все новые грузовые автомобили Mercedes-Benz, кроме того существует возможность оснащения оборудованием для подключения к этой системе для более старых ТС. Система представляет возможности реализации полноценной платформы по управлению корпоративным парком Fleet Management System – FMS и реализует все базовые функции: онлайн-мониторинг положения и режима работы ТС, контроль эффективности использования, расхода топлива, персонализацию и управление правами доступа водителей и оценка качества вождения ТС. Помимо этих функций система представляет достаточно интересный и расширенный функционал. Модуль «Анализ эффективности водителей» позволяет на основе заданных алгоритмов оценки навыков водителя по управлению ТС определить потенциал по снижению расхода топлива и снижению степени износа основных узлов ТС на основе анализа навыков работы с педалями газа и тормоза: частота и интенсивность разгонов и торможений, правильность выбора оборотов и силы нажатия на педаль газа; оценка средней скорости, подсчет числа остановок с работающим двигателем. Си-

стема проводит оценку сложности конкретных рейсов ТС с учетом перепада высот, массы автопоезда и загрузки трассы и может давать рекомендации по их прохождению. Платформа создает автоматические отчеты для руководителей парка, специалистов по технической эксплуатации ТС и тренеров-консультантов по обучению водителей компании, формирует отчеты по навыкам водителей и позволяет сравнивать результаты их вождения с лучшими мировыми практиками на подобной технике. Платформа содержит модуль по учету и контролю соблюдения режимов труда и отдыха водителей и согласования их с результатами управления парком для решения текущих логистических задач. С точки зрения планирования и управления техническим состоянием ТС система позволяет отслеживать и планировать время проведения ТО, оценивать интенсивность изнашивания основных узлов и степень их наработки, показывает в реальном времени температуру и давление моторного масла, уровень охлаждающей жидкости, износ тормозных колодок и давление в шинах. Система поддерживает удаленную диагностику ТС за счет считывания кодов неисправностей из блоков управления, отправки данных на сервер и ответственным лицам и принятия решения о возможности/невозможности эксплуатации ТС. Система ничем не выделяется из подобных платформ и на наш взгляд содержит весьма скромные возможности для оценки качества вождения ТС. В качестве исходных данных были использованы результаты эксплуатации 22 грузовых автомобилей Actros 1845 LS и Arocs 3351 за период с 2020 по 2022 год, эксплуатирующихся на северо-западе и в центральном регионе Российской Федерации. Автомобили Actros 1845 LS в исполнении седельных тягачей использовались для работы на междугородних маршрутах по качественным дорогам с асфальтовым покрытием и высокой интенсивностью

движения, автомобили Agocs 3351 в модификации сортиментовозов были задействованы для перевозки леса и пиломатериалов преимущественно по грунтовым лесным и дорогам местного значения с малой плотностью движения и низкими эксплуатационными скоростями. Все эти автомобили подключены к системе Mercedes-Benz Uptime в течение исследуемого периода и проходили техническое обслуживание у официального дилера в г. Вологде в соответствии с назначением индивидуальных интервалов технического обслуживания фирменной бортовой системы теледиагностики. За анализируемый период были собраны данные заказ-нарядов на указанную технику по всем операциям планового сервисного обслуживания, в которых фиксировались дата их прохождения, пробег автомобиля, марка, вязкость и спецификация моторного масла и перечень операций. Кроме того, при поступлении автомобиля к официальному дилеру в обязательном порядке проводился входной расширенный диагностический тест системой Xentry (рис. 1).

По его данным определялись имеющиеся коды ошибок в системах автомобиля и фиксировались дан-

ные встроенного счетчика часов работы двигателя с начала эксплуатации. Таким образом, для двух групп автомобилей с различным функциональным назначением и эксплуатационными условиями были получены данные по итоговому назначению интервалов технического обслуживания фирменной бортовой системой теледиагностики, входящей в Fleet Management System Mercedes-Benz. Наличие в первой группе автомобилей 13 Actros 1845 LS и 9 автомобилей Agocs 3351 во второй позволило получить достаточно широкий спектр данных, определяющих разные режимы эксплуатации, уровень водительского мастерства операторов и климатические и дорожные факторы. Более того, 3 автомобиля из каждой группы на протяжении периода наблюдений прошли последовательно по три сервисных обслуживания в соответствии с назначением интервала бортовыми теледиагностическими системами. Полученные из заказ-нарядов и входных диагностических тестов данные по номеру обслуживания, пробегу автомобиля и числу часов работы двигателя к этому моменту для таких автомобилей представлены в таблицах 1–2.

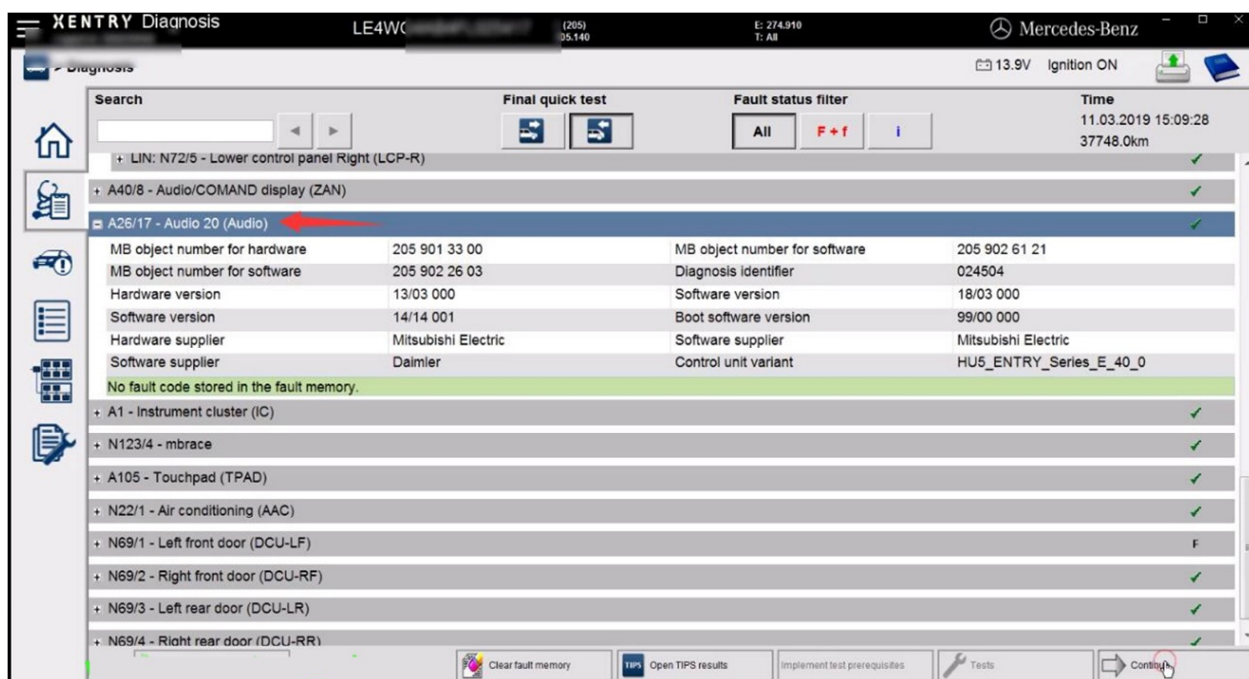


Рис. 1. Рабочий экран диагностического портала Xentry

Таблица 1

Исходные данные для автомобиля ACTROS 1844LS

ACTROS 1844LS				
Сервисное обслуживание	Параметры	Автомобиль		
		№ 1	№ 2	№ 3
1	Пробег	119357	151235	127233
	Часы	1947	2624	2127
2	Пробег	244361	288015	259827
	Часы	3918	5592	4344
3	Пробег	347136	392655	372683
	Часы	5621	7083	6213

Исходные данные для автомобиля AROCS 3351

AROCS 3351				
Сервисное обслуживание	Параметры	Автомобиль		
		№ 1	№ 2	№ 3
1	Пробег	83790	74628	58590
	Часы	1508	2923	1004
2	Пробег	158835	105774	124334
	Часы	2781	4080	2403
3	Пробег	205057	168739	183557
	Часы	3788	6056	4225

Для еще 10 автомобилей Actros 1845 LS и 6 автомобилей Arocs 3351 имелись данные о прохождении первого технического обслуживания, для них также были собраны результаты обследования из заказ-нарядов и входных диагностических тестов (табл. 3–4). Значения средней скорости были получены путем деления пробега на момент проведения сервисного обслуживания на количество часов работы двигателя к этому моменту по данным бортовой системы диагностики.

Таблица 3

Данные о прохождении первого технического обслуживания ACTROS 1844LS

ACTROS 1844LS			
Автомобиль	Пробег, км	Часы работы	Средняя скорость, км/ч
1	119357	1947	61
2	151235	2624	58
3	127233	2127	60
4	122227	2055	59
5	102537	1626	63
6	120292	2032	59
7	113009	1889	60
8	120000	2015	60
9	118456	1985	60
10	130167	2187	60

Таблица 4
Данные о прохождении первого технического обслуживания AROCS 3351

AROCS 3351			
Автомобиль	Пробег, км	Часы работы	Средняя скорость, км/ч
1	83790	1508	56
2	74628	2923	26
3	58590	1004	58
4	52447	1633	32
5	67934	2364	29
6	50216	1864	27

Пробеги автомобилей ACTROS 1844LS, соответствующие назначенным CMMS последовательным сервисным обслуживаниям 1, 2 и 3, представлены на рисунке 2 для трех автомобилей, прошедших все эти сервисные операции последовательно, там же приведены аппроксимирующие их линии, уравнения регрессии и коэффициенты аппроксимации. Хорошо видно, что у всех трех автомобилей это прямые линии с $R^2 \approx 1$, при этом наклон и начальная точка этих прямых разные, что говорит о наличии некоторых отличий в интервале прохождения сервисного обслуживания, однако общий линейный характер при этом не меняется.

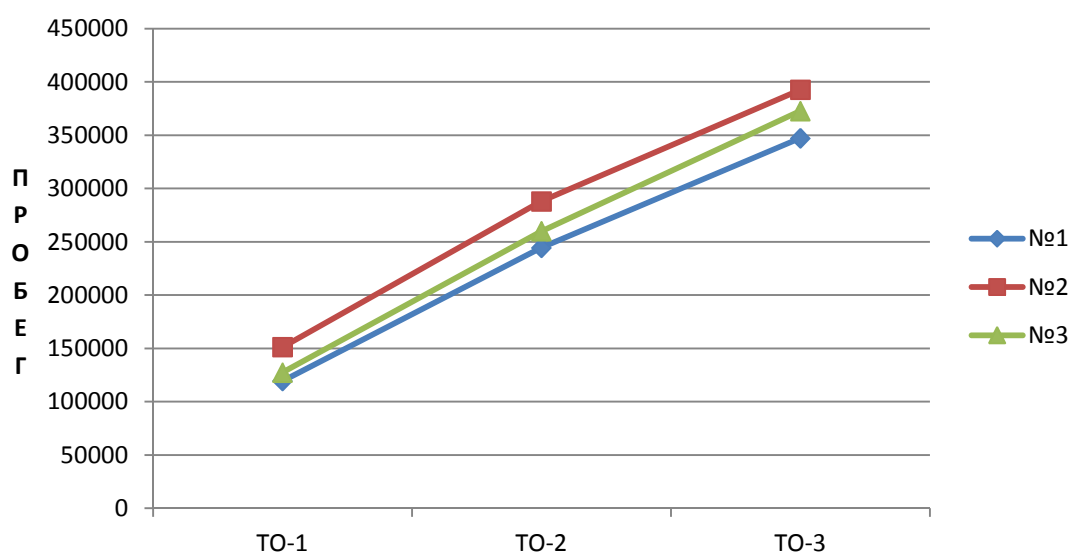


Рис. 2. Зависимость пробега при назначении сервисного обслуживания для ACTROS 1844LS

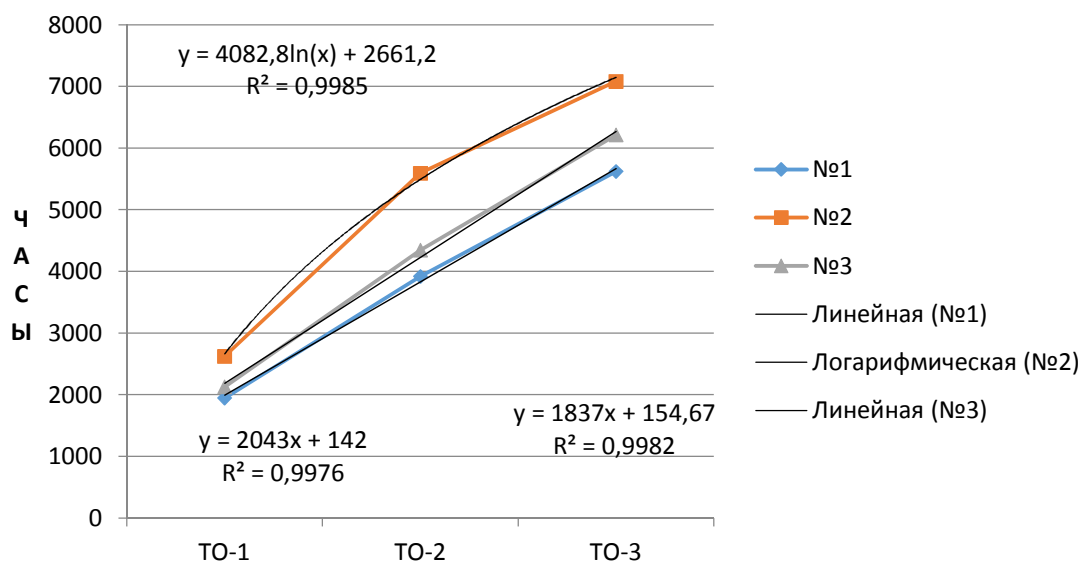


Рис. 3. Зависимость наработки в часах двигателя при назначении сервисного обслуживания для ACTROS 1844LS

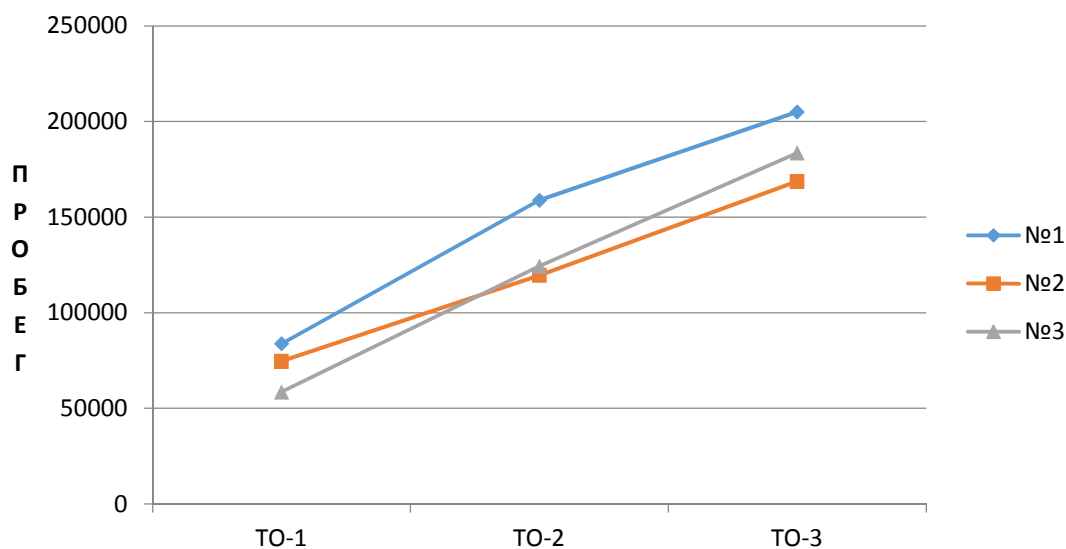


Рис. 4. Зависимость пробега при назначении сервисного обслуживания для AROCS 3351

При этом соответствующие им наработки двигателей автомобилей ACTROS 1844LS в часах, представленные на рисунке 3, не образуют таких простых и линейных зависимостей и отличаются друг от друга более серьезно. Практически та же ситуация прослеживается при анализе пробегов и наработки двигателя автомобилей AROCS 3351, показанных на рисунках 4, 5. При этом особенно выделяется автомобиль № 2, который демонстрирует существенное отличие назначенных CMMS интервалов технического обслуживания и некоторое изменение функциональных зависимостей номера сервисного обслуживания от изменения пробега автомобиля и наработки в часах. Само по себе отличие интервалов сервисного обслуживания автомобилей ACTROS 1844LS и AROCS 3351 понятно и легко объясняется кардинальной разницей условий эксплуатации этих автомобилей, косвенно это видно по существенной разнице средних скоростей движения: 60 км/ч у ACTROS 1844LS и 38 км/ч у AROCS 3351 (табл. 3, 4).

Если проанализировать данные по назначаемым CMMS сервисным обслуживаниям № 1 для дополнительных 10 автомобилей ACTROS 1844LS (рис. 6), то стоит обратить внимание, что разница между назначаемыми интервалами для одного и того же сервисного обслуживания № 1 существенна и составляет порядка 47 % в сторону увеличения от минимального значения. При этом 6 из 10 автомобилей получили сервисный интервал приблизительно равный 120 тыс. км пробега для обслуживания № 1. Для автомобилей AROCS 3351 (рис. 7) эти отклонения еще больше и достигают 67 % отклонения от минимального значения, при этом 3 из 6 автомобилей прошли 1 сервисное обслуживание в интервале от 50 до 60 тыс. км. С точки зрения наработки двигателя в часах здесь для автомобилей ACTROS 1844LS (рис. 8) прослеживается достаточно четкое попадание в интервал 2000 часов работы ± 150 часов, в то время как для AROCS 3351 (рис. 9) такой близости результатов нет.

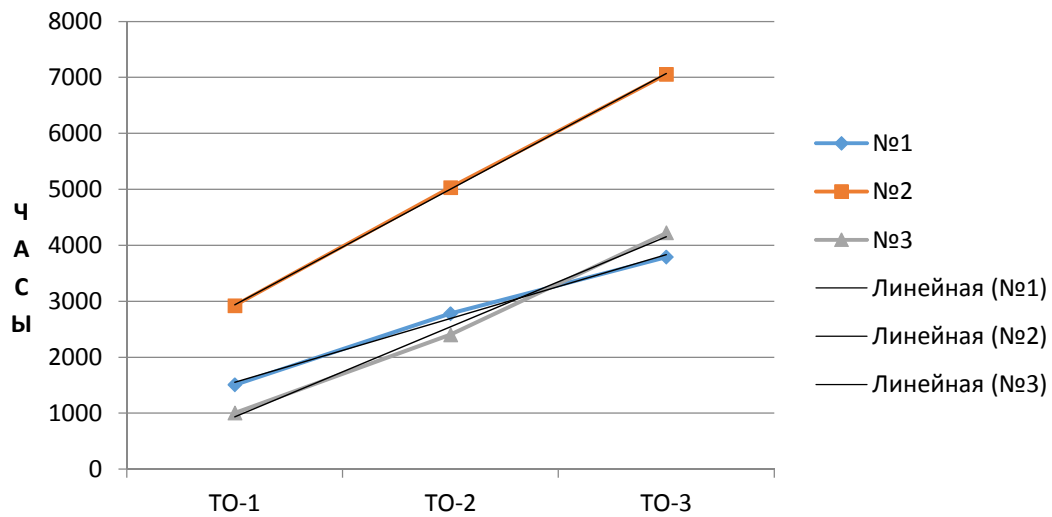


Рис. 5. Зависимость наработки в часах двигателя при назначении сервисного обслуживания для AROCS 3351

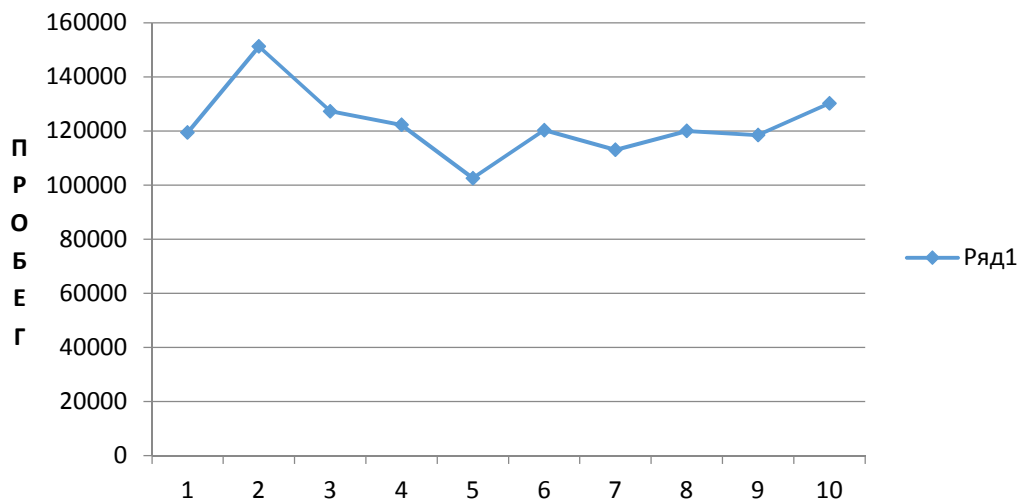


Рис. 6. Зависимость пробега при назначении сервисного обслуживания № 1 для ACTROS 1844LS

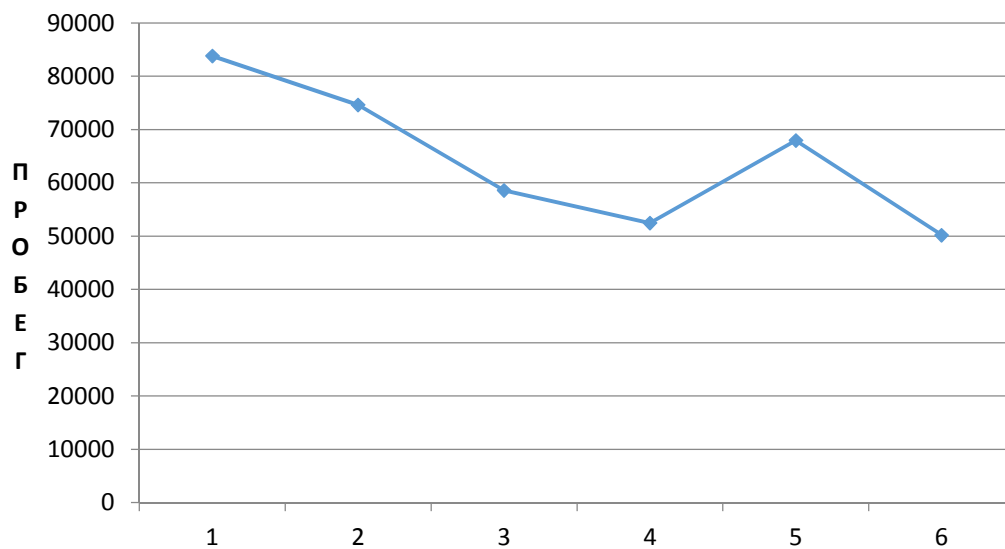


Рис. 7. Зависимость пробега при назначении сервисного обслуживания № 1 для AROCS 3351

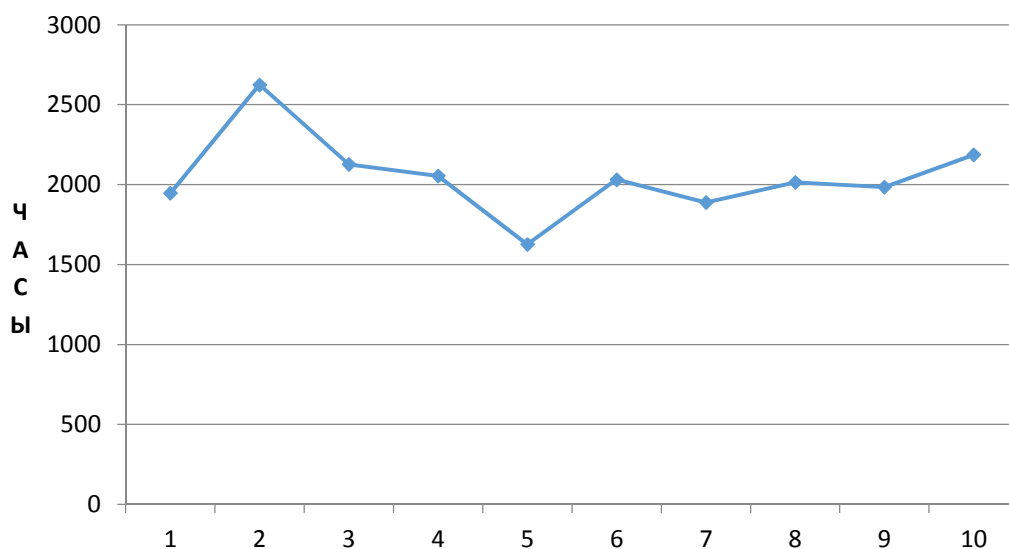


Рис. 8. Зависимость наработки в часах двигателя при назначении сервисного обслуживания № 1 для ACTROS 1844LS

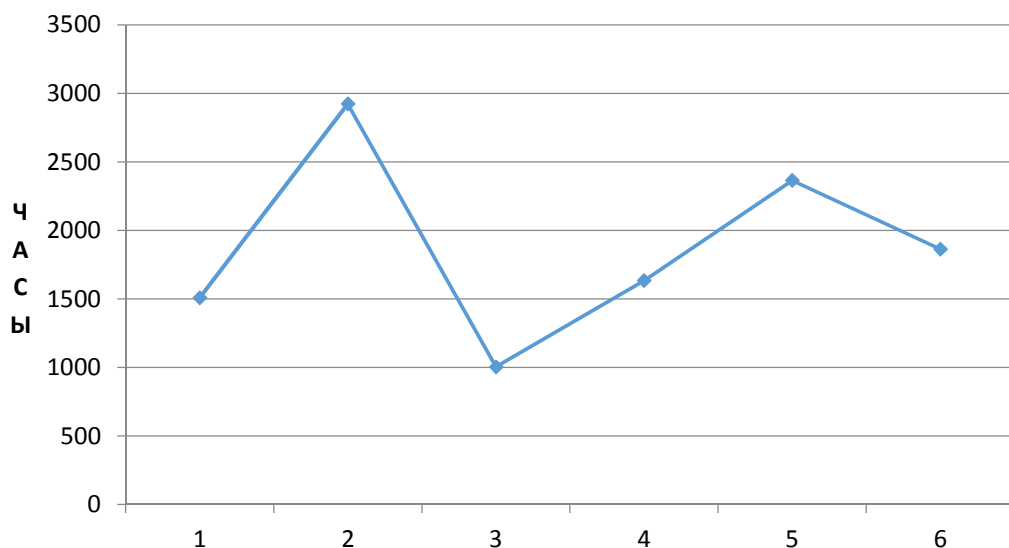


Рис. 9. Зависимость наработки в часах двигателя при назначении сервисного обслуживания № 1 для AROCS 3351

Таблица 5

Математические модели интервалов назначения сервисного обслуживания для ACTROS 1845LS

ACTROS 1845LS	Автомобиль		
	№ 1	№ 2	№ 3
Пробег	$y=113889,50x+9172,33$ $R^2=1,00$	$y=120710x+35882$ $R^2=0,9941$	$y=122725x+7797,7$ $R^2=0,9978$
Часы	$y=1837x+154,67$ $R^2=0,9982$	$y=4082,8\ln(x)+2661,2$ $R^2=0,9985$	$y=2043x+142$ $R^2=0,9976$

Таблица 6

Математические модели интервалов назначения сервисного обслуживания для AROCS 3351

AROCS 3351	Автомобиль		
	№ 1	№ 2	№ 3
Пробег	$y=110154\ln(x)+83437$ $R^2=0,9998$	$y=15930x^2+16666x+75364$ $R^2=1$	$y=62484x-2806,7$ $R^2=0,9991$
Часы	$y=1140x+412,33$ $R^2=0,9955$	$y=2872,5\ln(x)+2955,1$ $R^2=0,9977$	$y=1610,5x-677$ $R^2=0,9943$

Достаточные величины R2 позволяют на наш взгляд спрогнозировать, опираясь на полученные математические модели (табл. 5, 6), значения пробега автомобилей и наработки двигателя в часах для последующих сервисных обслуживаний № 4 и № 5. Полученные значения представлены в таблицах 7, 8.

Таблица 7

Прогнозные значения интервалов назначения сервисного обслуживания для ACTROS 1845LS

Автомобили				
		№ 1	№ 2	№ 3
ТО-4	Пробег, км	464730,3	518722	498697,7
	Часы	7502,67	8321,163	8314
ТО-5	Пробег	578619,8	639432	621422,7
	Часы	9339,67	9232,213	10357

Таблица 8

Прогнозные значения интервалов назначения сервисного обслуживания для AROCS 3351

Автомобили				
		№ 1	№ 2	№ 3
ТО-4	Пробег, км	236142,9	263580	247129,3
	Часы	4972,33	6937,231	5765
ТО-5	Пробег	260723	390284	247129,3
	Часы	6112,33	7578,21	7375,5

Опираясь на полученную статистику, можно сделать вывод о том, что в пределах одной модели Actros 1845LS на всех автомобилях наблюдается приблизительно одна и та же средняя скорость, которая говорит о том, что грузовики двигаются в основном по межгородским маршрутам, это подтверждается их большими пробегами до технического обслуживания, данные по пробегу, наработке в часах между собой отличаются, но относительно не так уж и много, они растут пропорционально друг другу в отличие от сортиментовозов марки Arocs 3351 – здесь результаты получились неоднозначные, это обусловлено их режимом работы: автомобиль оснащен краноманипуляторной установкой, и чаще всего его главной задачей является пакетирование, а также перевозка древесины на небольшие расстояния, пробег сортиментовоза существенно отличается от шоссейного тягача, поэтому система определения интервалов обслуживания ориентируется в большей степени по часам работы двигателя. С другой стороны, хорошо заметно, что существующая система CMMS определяет интервалы обслуживания, ориентируясь не только на пробег, наработку в часах и временной интервал, но и на ряд других параметров, которые мы не затронули в исследовании.

Опираясь на имеющуюся статистику по интервалам пройденных сервисных обслуживаний для одного и того же автомобиля, можно получить достаточно верифицированную модель и прогнозировать последующие пробеги, соответствующие будущим сервисным обслуживаниям. Полученные значения можно использовать с точки зрения построения экономической модели эксплуатации техники для расчета будущей производительности и расходов на эксплуатацию автомобиля в рамках известных технико-экономических подходов [9]

или для создания цифрового двойника автомобиля в рамках прогнозных моделей FMS.

Первоначальная гипотеза о том, что современные реализуемые производителями грузовых автомобилей системы назначения индивидуальных интервалов ТО CMMS работоспособны и дают действительно различные стратегии для систем технического обслуживания, в целом подтвердилась [6, 7]. Однако, как показал анализ данных по назначаемым системой интервалов сервисного обслуживания, величины отклонения их для магистральных грузовых автомобилей при небольшой разнице в средних скоростях ощутимы, но не столь сильно различаются, куда больше отличий при применении этой системы на автомобилях, эксплуатируемых в сложных дорожных условиях. Не смотря на различия в интервалах одного и того же сервисного обслуживания между автомобилями одной модели, в рамках одного автомобиля они подчиняются линейной зависимости с очень высоким значением R2, что позволяет делать прогнозные значения для будущих интервалов обслуживания и использовать эти данные в рамках систем управления производительностью парка или цифровых двойников техники [8, 9].

Литература

1. Modeling of Fuel Consumption of Passenger Cars Based on Their Technical Characteristics, 2021 / D. B. Yefimenko, D. A. Ptitsyn, P. I. Smirnov and A. A. Akulov. – DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416138 // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 2021. – PP. 1–4.
2. Karelina, M. Y. The Influence of the Characteristics of the Traffic Flow and the Structure of Vehicles on the Energy Consumption and Ecological Safety of Passenger Transportation : case of Vologda, Russia, 2021 / M. Y. Karelina, P. I. Smirnov and B. S. Subbotin. – doi: 10.1109/TIRVED53476.2021.9639202 // Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED). – 2021. – PP. 1–6.
3. Karelina, M. Y. Methodological Approaches to Estimation of the Braking Energy Recovery Properties, 2021 / M. Y. Karelina, O. N. Didmanidze and V. A. Rakov. – DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416078 // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – 2021. – PP. 1–4.
4. Stagnation in the Development of Internal Combustion Engines as a Factor of Transition to More Perfect Power Units," 2021 / V. A. Rakov, B. S. Subbotin, A. M. Ivanov and A. V. Podgorny. DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416056 // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – 2021. – PP. 1–5.
5. Retail and Wholesale Electricity Pricing Considering Electric Vehicle Mobility / M. Alizadeh, H.-T. Wai, A. Goldsmith and A. Scaglione. – DOI: 10.1109/TCNS.2018.2809960 // IEEE Transactions on Control of Network Systems. – 2019. – Vol. 6, no. 1. – PP. 249–260.
6. Davidson, A. Specifying Truck Movement in Traffic Models Using Cell-DEVS / A. Davidson and G. Wainer. – DOI: 10.1109/SIMSYM.2000.844902 // Proceedings 33rd Annual Simulation Symposium (SS 2000). – 2000. – PP. 66–73.

7. Scientific objectives of research on road machines life cycle in modern conditions / S. A. Evtiukov, S.V. Repin, S. M. Grushetskii, G. A. Karro // The Russian Automobile and Highway Industry Journal. – 2020/ – 17(4). – PP. 442–451. – URL: doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-442-451 (дата обращения: 01.12.2022). – Text : Electronic.

8. Application of Methods for Obtaining Pareto Set for Increasing Effectiveness of Managing Decisions Under Conditions of Multi-criteriality / M. Yu. Karelina,

S. B. Benevolenskiy, A. V. Terentyev, I. V. Arifullin // Proceeding of the International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". – PP. 883–890.

9. The Economic Assessment of the Solution to the Multi-Criteria Problem for Determining Heavy Vehicles Usage Efficiency / P. Smirnov, B. Subbotin & V. Klimenko // International journal of online and biomedical engineering. – 2021. – Vol. 17, no. 13. – PP. 151–156.

P.I. Smirnov, P.E. Smirnov
Vologda State University

MODELING OF TRUCKS MAINTENANCE INTERVALS WITHIN THE FRAMEWORK OF CLOSED-PROPRIETARY SYSTEM FOR MAINTENANCE FREQUENCY CORRECTION

In modern conditions, an increasing number of manufacturers of trucks and special construction and agricultural machinery are using new computerized maintenance management system (CMMS) instead of a maintenance system with rigidly set intervals for mileage or operation of equipment in hours. The latter allow the use of individually configurable equipment maintenance systems that determine maintenance intervals depending on the actual load on the equipment and its operating conditions. The paper analyzes the data on 22 units of Mercedes-Benz Arocs and Mercedes-Benz Actros trucks for 180-250 th.km. of mileage and maintenance on them, shows service intervals, analyzes the impact of operating conditions on them.

Truck, maintenance interval, operating conditions, computerized maintenance management system.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Андрианов Игорь Александрович

доцент кафедры автоматики и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
andrianovia@vogu35.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)
bulavinatg@vogu35.ru

Вельсовский Анатолий Юрьевич

кандидат технических наук, заведующий кафедрой автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
vau@vogu35.ru

Востров Анатолий Валентинович

старший преподаватель кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
anatoly_1@mail.ru

Григорьев Николай Станиславович

кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
grigorevns@vogu35.ru

Гудков Александр Геннадьевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоводоснабжения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
gudkovag@vogu35.ru

Дианов Даниил Сергеевич

аспирант Вологодского научного центра Российской академии наук (Вологда, Россия)
daniil.dianov@gmail.com

Дианов Сергей Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
dianov.sv@mail.ru

Иньков Александр Эдуардович

ассистент кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
inkovaie@vogu35.ru

Казакова Ирина Сергеевна

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
kazakova.is@yandex.ru

Козлов Савва Сергеевич

инженер-конструктор ООО «Александра-Про» (Вологда, Россия)
kozlovsavva@yandex.ru

Комиссарова Ирина Игоревна

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
IRIGKOM@mail.ru

Кузьмин Александр Григорьевич

доктор медицинских наук, профессор, доцент кафедры управляющих и вычислительных систем Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
bmt@vogu35.ru

Кулева Наталья Ивановна

старший преподаватель кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
kulevani@vogu35.ru

Лобанов Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Тульского государственного университета (Вологда, Россия)
trunikolaj@yandex.ru

Махди Юсефи Неджад Аттари

преподаватель факультета промышленной инженерии Исламского университета Азад (г. Бенаб, Иран)
petrsm@bk.ru

Мясникова Светлана Александровна

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
lana-m-11@mail.ru

Попов Игорь Павлович

старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов Курганского государственного университета (Курган, Россия)
ip.porow@yandex.ru

Притыченко Иван Александрович

магистрант кафедры автоматики и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
pritychenko.ivan@gmail.com

Сигов Александр Николаевич

старший преподаватель кафедры менеджмента и систем качества Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета имени В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург, Россия)
pavlov_kaftgv@mail.ru

Силинский Виктор Алексеевич

аспирант кафедры теплогазоводоснабжения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
viktor.silinsky@yandex.ru

Смирнов Павел Евгеньевич

магистрант кафедры электрооборудования Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
petrsm@bk.ru

Смирнов Петр Ильич

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
petrsm@bk.ru

Соколов Леонид Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоводоснабжения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
tgv@vogu35.ru

Соловьева Екатерина Вячеславовна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры архитектуры и градостроительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
evsvologda@mail.ru

Старостин Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
starostinav@vogu35.ru

Степанов Александр Сергеевич

кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
alex.stepanov@mail.ru

Суконщиков Алексей Александрович

кандидат технических наук, заведующий кафедрой автоматизации и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
starostinav@vogu35.ru

Трушин Николай Николаевич

кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения Тульского государственного университета (Вологда, Россия)
trunikolaj@yandex.ru

Умаров Максуджон Файзулоевич

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры управляющих и вычислительных систем Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
umma54@rambler.ru

Шорин Владимир Александрович

доктор химических наук, профессор кафедры автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
ad@vogu35.ru

Яняк Сергей Владимирович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
tms@vogu35.ru

Яхричев Виктор Васильевич

старший преподаватель кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
yahrichev@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrianov Igor Alexandrovich

Associate Professor, Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
andrianovia@vogu35.ru

Bulavin Vyacheslav Fedorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)
bulavin35@mail.ru

Bulavina Tamara Georgievna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electrical Equipment, Vologda State University (Vologda, Russia)
bulavinatg@vogu35.ru

Velovsky Anatoly Yurievich

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Automobile Roads, Vologda State University (Vologda, Russia)
vau@vogu35.ru

Vostrov Anatoly Valentinovich

Senior Lecturer, Department of Automobiles and Automobile Economy, Vologda State University (Vologda, Russia)
anatoly_1@mail.ru

Grigoriev Nikolai Stanislavovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electrical Equipment, Vologda State University (Vologda, Russia)
grigorevns@vogu35.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

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 Associate Professor, Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
dianov.sv@mail.ru

Inkov Alexander Eduardovich

Assistant, Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
inkovaie@vogu35.ru

Kazakova Irina Sergeevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
kazakova.is@yandex.ru

Kozlov Savva Sergeevich

Design Engineer, Alexandra-Pro LLC (Vologda, Russia)
kozlovsavva@yandex.ru

Komissarova Irina Igorevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Roads, Vologda State University (Vologda, Russia)
IRIGKOM@mail.ru

Kuzmin Alexander Grigorievich

Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
bmt@vogu35.ru

Kuleva Natalya Ivanovna

Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)
kulevani@vogu35.ru

Lobanov Alexander Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, Tula State University (Tula, Russia)
trunikolaj@yandex.ru

Mahdi Yousefi Nejad Attari

Lecturer, Faculty of Industrial Engineering, Islamic Azad University (Benab, Iran)
petrsm@bk.ru

Myasnikova Svetlana Alexandrovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Roads, Vologda State University (Vologda, Russia)
lana-m-11@mail.ru

Popov Igor Pavlovich

Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering Technology, Metal-cutting Machines and Tools, Kurgan State University (Kurgan, Russia)
ip.popow@yandex.ru

Pritychenko Ivan Alexandrovich

Master student of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
pritychenko.ivan@gmail.com

Sigov Alexander Nikolaevich

Senior Lecturer, Department of Management and Quality Systems, St. Petersburg State Electrotechnical University named after V.I. Ulyanov (Lenin) (St. Petersburg, Russia)
pavlov_kaftgv@mail.ru

Silinsky Viktor Alekseevich

Postgraduate student of the Department of Heat and Gas Supply, Vologda State University (Vologda, Russia)
viktor.silinsky@yandex.ru

Smirnov Pavel Evgenievich

Master student of the Department of Electrical Equipment, Vologda State University (Vologda, Russia)
petrsm@bk.ru

Smirnov Pyotr Ilyich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automobiles and Automotive Economy, Vologda State University (Vologda, Russia)
petrsm@bk.ru

Sokolov Leonid Ivanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Heat and Gas Supply, Vologda State University (Vologda, Russia)
tgv@vogu35.ru

Solovieva Ekaterina Vyacheslavovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Architecture and Urban Planning, Vologda State University (Vologda, Russia)
evsvologda@mail.ru

Starostin Alexander Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)
starostinav@vogu35.ru

Stepanov Alexander Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Mechanical Engineering Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)
alex.stepanov@mail.ru

Sukonshchikov Alexey Alexandrovich

Head of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)
starostinav@vogu35.ru

Trushin Nikolai Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Mechanical Engineering Technology, Tula State University (Tula, Russia)
trunikolaj@yandex.ru

Umarov Maksujon Faizuloevich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Control and Computing Systems, Vologda State University (Vologda, Russia)
umma54@rambler.ru

Shorin Vladimir Alexandrovich

Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Automobile Roads, Vologda State University (Vologda, Russia)
ad@vogu35.ru

Yakhrichev Viktor Vasilievich

Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)
yahrichev@yandex.ru

Yanyak Sergey Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Vologda, Russia)
tms@vogu35.ru