

ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 3(18), 2021

Воронежский государственный технический университет



*Строительные конструкции,
здания и сооружения*

*Градостроительство.
Реконструкция, реставрация
и благоустройство*

*Инженерные системы
и коммуникации*

*Экология и безопасность
городской среды*

*Экономика и организация
строительства*

*Дорожно-транспортное
хозяйство
и строительная техника*

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 3(18), 2021

**ПО ВОПРОСАМ
РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ СТАТЕЙ
ОБРАЩАТЬСЯ В РЕДАКЦИЮ
НАУЧНОГО ЖУРНАЛА**

**ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО
и коммунальная инфраструктура**

Адрес редакции:

394006, Россия

г. Воронеж,

ул. 20-летия Октября, дом 84, корп. I, ауд. 1326;

тел. (473) 271-28-92;

E-mail: vstu.gkh@gmail.com





ISSN 2541-9110

**Научный журнал
Воронежского государственного
технического университета
Жилищное хозяйство
и коммунальная
инфраструктура**



Издается с 2017 года

Учредитель и издатель:

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»**

Адрес издателя и учредителя: 394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Территория распространения – **Российская Федерация,
зарубежные страны**

Выходит 4 раза в год

Журнал входит в перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Журнал публикует материалы по следующим разделам:

- ✓ Строительные конструкции, здания и сооружения
- ✓ Инженерные системы и коммуникации
- ✓ Градостроительство. Реконструкция, реставрация и благоустройство
- ✓ Экология и безопасность городской среды
- ✓ Дорожно-транспортное хозяйство и строительная техника
- ✓ Экономика и организация строительства

Журнал размещен на сайте Научной электронной библиотеки, текст статьи подвергается проверке на уникальность.

Перепечатка материалов журнала без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Воронеж



ISSN 2541-9110

Scientific journal
Voronezh State Technical University
Housing
and Utilities Infrastructure



The journal has been publishing since 2017

Founder and publisher:
Federal state budgetary educational institution
«Voronezh State Technical University»

Address of publisher and founder: 84, 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006

The territory of distribution – **Russian Federation,**
foreign countries

Published 4 times a year

The Journal is included in the “List of reviewed scientific publications”,
in which the main scientific results of the dissertations
for the ‘Degree of Candidate of Science’ and for the ‘Degree of Doctor of Science’

Journal publishes materials on the following topics:

- ✓ Construction designs, buildings and constructions
- ✓ Engineering systems and communications
- ✓ Reconstruction, restoration and landscaping
- ✓ Environment and safety of the urban environment
- ✓ Road transport agriculture and construction equipment
- ✓ Economics and organization of construction

The journal is placed on the website of the Scientific Electronic Library, the text of the article is checked for uniqueness.

Reprint of the journal without permission of the publisher is prohibited, links to journal when quoting are obligatory.

Voronezh

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – Яременко Сергей Анатольевич, декан факультета инженерных систем и сооружений (Воронежский государственный технический университет)

Сазонов Э. В., д-р техн. наук, профессор, зам. главного редактора (Воронежский государственный технический университет)

Баранников Н. И., д-р техн. наук, профессор, зам. главного редактора (Воронежский государственный технический университет)

Арушанов М. Л., д-р физ.-мат. наук, профессор, действительный член Нью-Йоркской Академии наук (Среднеазиатский научно-исследовательский Институт им. В.А. Бугаева, г. Ташкент)

Аверкин А. Г., д-р техн. наук, профессор (Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

Блех Е. М., д-р экон. наук, профессор (Институт отраслевого управления РАНХиГС), г. Москва

Бодров М. В., д-р техн. наук, профессор (Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)

Бондарев Б. А., д-р техн. наук, профессор (Липецкий государственный технический университет)

Ветрова Н. М., д-р техн. наук, профессор (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь)

Гришин Б. М., д-р техн. наук, профессор (Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

Зайцев О. Н., д-р техн. наук, профессор (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь)

Зиганшин А. М., канд. техн. наук, доцент, зам. директора по научной работе Института строительных технологий и инженерно-экологических систем (Казанский государственный архитектурно-строительный университет)

Ежов В. С., д-р техн. наук, профессор (Юго-Западный государственный университет, г. Курск)

Касьянов В. Ф., д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент жилищной академии РФ, заслуженный работник высшей школы, почетный работник высшего образования, почетный строитель России, почетный строитель Москвы, почетный работник ЖКХ РФ, НИУ МГСУ, г. Москва

Козлов В. А., д-р физ.-мат. наук, профессор (Воронежский государственный технический университет)

Кононова М. С., канд. техн. наук, доцент (Воронежский государственный технический университет)

Король Е. А., д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН, Почетный строитель России, академик РИА, член РОИС (Московский государственный строительный университет)

Леденев В. И., д-р техн. наук, профессор (Тамбовский государственный технический университет)

Маилян Л. Р., д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН, г. Ростов-на-Дону

Москвичева Е. В., д-р техн. наук, профессор (Волгоградский государственный технический университет)

Опарина Л. А., д-р техн. наук, доцент (Ивановский государственный политехнический университет)

Романова А. И., д-р экон. наук, профессор, директор Института дополнительного профессионального образования, член-корреспондент Международной академии инвестиций и экономики строительства, почетный работник ВПО РФ, Казань

Савин К. Н., д-р экон. наук, д-р техн. наук, профессор, почетный работник ЖКХ России, почетный работник Высшего профессионального образования РФ, руководитель направления ЖКХ (Тамбовский государственный технический университет)

Столбушкин А. Ю., д-р техн. наук, профессор (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

Уваров В. А., д-р техн. наук, профессор (Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова)

Шибяева М. А., д-р экон. наук, профессор (Воронежский государственный технический университет)

Щукин О. С., д-р экон. наук, профессор (Воронежский государственный университет)

Эвнев В. А., д-р техн. наук, профессор, декан инженерно-технологического факультета (Калмыцкий государственный университет, г. Элиста)

Ответственный секретарь – Жерлыкина Мария Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства (Воронежский государственный технический университет)

Редакторы: Кононова М. С., Жерлыкина М. Н.

Дизайн обложки: Якубенко А. В. *Фото обложки:* Толоконников К. П.

Редактор перевода: Козлова В.В.

Подписной индекс «Объединенный каталог. Пресса России» – 81025

Дата выхода в свет 29.09.2021. Усл. печ. л. 14,4. Формат 60×84/8. Тираж 500 экз. Заказ №

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 69631

выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Цена свободная

Адрес редакции: 394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ком. 1326;
тел. (473) 271-28-92; e-mail: vstu.gkh@gmail.com.

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ
394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief – Yaremenko Sergey Anatolevich, Dean of the Faculty of Engineering systems and structures (Voronezh State Technical University)

Sazonov E. V., Dr. Sc. (Technical), Prof., Deputy Chief Editor (Voronezh State Technical University)

Barannikov N. I., Dr. Sc. (Technical), Prof., Deputy Chief Editor (Voronezh State Technical University)

Arushanov M. L., Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Prof., Full member of the New-York Academy of Sciences (Central scientific research Institute named after V. A. Bugaev, Tashkent-city)

Averkin A. G., Dr. Sc. (Technical), Prof. (Penza State University of architecture and construction)

Blekh E. M., Dr. Sc. (Economics), Prof. (Institute of Sectoral Management, RANEPa), Moscow

Bodrov M. V., Dr. Sc. (Technical), Prof. (Nizhny Novgorod State University of Architecture and Construction)

Bondarev B. A., Dr. Sc. (Technical), Prof. (Lipetsk State Technical University)

Vetrova N. M., Dr. Sc. (Technical), Prof. (Federal State Autonomous educational institution «Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky», Simferopol-city)

Grishin B. M., Dr. Sc. (Technical), Prof. (Penza State University of architecture and construction)

Zaitsev O. N., Dr. Sc. (Technical), Prof. (Federal State Autonomous educational institution «Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky», Simferopol-city)

Ziganshin A. M., Cand. Sc. (Technical), Associate Prof. (Kazan State University of Architecture and Civil Engineering)

Ezhov V. S., Dr. Sc. (Technical), Prof. (South-West State University)

Kas'yanov V. F., Dr. Sc. (Technical), Prof., corresponding member of the housing Academy of the Russian Federation, honored worker of higher school, honored worker of higher education, honorary Builder of Russia, honorary Builder of Moscow, honorary worker of housing and communal services of the Russian Federation, National research Moscow state University of civil engineering

Kozlov V. A., Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Prof. (Voronezh State Technical University)

Kononova M. S., Cand. Sc. (Technical), Associate Prof. (Voronezh State Technical University)

Korol' E. A., Dr. Sc. (Technical), Prof., corresponding member of The Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, honored Builder of Russia, the academician of RIA, member of Moscow State University of Civil Engineering

Ledenev V. I., Dr. Sc. (Technical), Prof. (Tambov State Technical University)

Mailyan L. R., Dr. Sc. (Technical), Prof., corresponding member of The Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, the city of Rostov-on-Don

Moskvicheva E. V., Dr. Sc. (Technical), Prof. (Volgograd State Technical University)

Oparina L. A., Dr. Sc. (Technical), Associate Prof. (Ivanovo State Polytechnic University)

Romanova A. I., Dr. Sc. (Economics), Prof., The Head of the Institute of Continuing Professional Education, Corresponding Member of International Academy of Investments and Construction Economics, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation (Kazan State University of Architecture and Civil Engineering)

Savin K. N., Dr. Sc. (Economics), Prof., Honorary Worker of Housing and Public Utilities of Russia, Honorary Worker of the Higher Professional Education of the Russian Federation, Head of the Housing and Utilities Sector (Tambov State Technical University)

Stolboushkin A. Yu., Dr. Sc. (Technical), Prof. (Siberian State Industrial University, Novokuznetsk-city)

Uvarov V. A., Dr. Sc. (Technical), Prof. (Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov)

Shibaeva M. A., Dr. Sc. (Economics), Prof. (Voronezh State Technical University)

Schukin O. S., Dr. Sc. (Economics), Prof. (Voronezh State University)

Eview V. A., Dr. Sc. (Technical), Prof. (Calmic State University, Elista-city)

Executive Secretary – Zherlykina Mariya Nikolaevna, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services (Voronezh State Technical University)

Editors: M. S. Kononova, M. N. Zherlykina

Cover design: A. V. Yakubenko *Cover photo:* K. P. Tolokonnikov

Translation editor: V. V. Kozlova

Subscription index «Combined catalog. Press of Russia» – 81025

Date of publication 29.09.2021. Conventional printed sheets 14,4. Format 60×84/8. Circulation 500 copies. Order

Registration certificate ПИ № ФС 77 – 69631

issued by the Federal service for supervision of communications, information technology and mass communications

Free price

The address of editorial office: 84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia;
phone: (473) 271-28-92; e-mail: vstu.gkh@gmail.com.

Printed: department of operative polygraphy in VSTU publishing house
84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russian Federation

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Шмелев Г. Д., Сазонов Э. В., Кононова М. С.

Мониторинг и прогноз технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений	9
--	---

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

Бурьянов И. А., Логачев И. Н., Логачев К. И., Гольцов А. Б.

Определение коэффициента динамической формы пылевых частиц, выделяющихся в зоне заточных станков	19
--	----

Новосельцев Б. П., Шаилова И. И.

Использование вентиляторов-доводчиков для снижения расхода электрической энергии на привод вентилятора	28
--	----

Тирон О. В., Логачев И. Н., Логачев К. И.

Численное моделирование пылевоздушного потока в пылеулавливающей насадке при сверлении плоских поверхностей.....	37
--	----

Колосова Н. В., Котова Л. А., Высоцкая А. А.

Анализ опасности аварийных ситуаций при строительстве и эксплуатации газовых котельных.....	49
---	----

Степанова Т. В., Бочаров П. О., Погорелова А. В.

Внедрение аквапонии в искусственные бассейны по выращиванию карповых и осетровых рыб.....	57
---	----

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

Мохов Г. Г., Дементьева М. Е.

Развитие городской застройки с учетом особенностей формирования рынка апарт-отелей.....	65
---	----

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Прождорина Т. И., Куропан С. А., Боева А. С.

Оценка влияния автотранспортного шума на условия проживания в городской застройке.....	75
--	----

ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЕ ХОЗЯЙСТВО И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Соломенцев А. Б., Режист Моиз, Жозеф Швендески Маселюс

Оценка технологических параметров асфальтобетонных смесей для улично-дорожной сети городских агломераций с добавками низкомолекулярного полиэтилена.....	85
--	----

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Попова Н. М., Чудинов Д. М., Сотникова О. А., Петрикеева Н. А.

Оценка конкурентной способности гелиосистемы гостиницы в Воронежской области.....	97
---	----

Емельянов Д. А., Артамонов П. А.

Технико-экономическое обоснование применения газопоршневой установки в котельной средней мощности	106
---	-----

Нилов В. А., Жулай В. А., Тюнин В. Л., Щенко А. Н.

Технико-экономическое обоснование эффективности уплотнения покрытий и оснований трехвальцовыми катками тандемного типа.....	114
---	-----

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....	123
---	------------

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

Shmelev G. D., Sazonov E. V., Kononova M. S.

Monitoring and prediction of technical condition of structural units of buildings and structures.....9

ENGINEERING SYSTEMS AND COMMUNICATIONS

Buryanov I. A., Logachev I. N., Logachev K. I., Goltsov A. B.

Determination of the coefficient of the dynamic shape of dust particles released in the area of grinding machines.19

Novoselcev B. P., Shamilova I. I.

Using fan coil units to reduce electric energy consumption for the fan drive.....28

Tiron O. V., Logachev I. N., Logachev K. I.

Numerical simulation of air dust flow in a dust collecting nozzle when drilling flat surfaces.....37

Kolosova N. V., Kotova L. A., Vysotskaya A. A.

Analysis of the danger of emergency situations in the construction and operation of gas boiler houses49

Stepanova T. V., Bocharov P. O., Pogorelova A. V.

Implementation of aquaponics in artificial pools for growing carp and sturgeon fish.....57

CITY. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

Mokhov G. G., Dement'eva M. E.

Evolution of urban development taking into account the features of the apartment market forming65

ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

Prozhorina T. I., Kurolap S. A., Boeva A. S.

Assessment of the road noise impact on the living conditions in urban areas.....75

ROAD TRANSPORT, AGRICULTURE AND CONSTRUCTION MACHINES

Solomentsev A. B., Regist Moiz, Joseph Schwendeski Maselus

Evaluation of technological parameters of asphalt concrete mixtures for the street-road network in urban agglomerations using additives of polyethylene with low molecular weight.....85

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

Popova N. M., Chudinov D. M., Sotnikova O. A., Petrikeeveva N. A.

Competitiveness assessment of the solar system of a hotel in the Voronezh region97

Emelyanov D. A., Artamonov P. A.

Technical and economic rationale of a gas-piston use in a medium-capacity boiler house.....106

Nilov V. A., Zhulay V. A., Tyunin V. L., Shchiyenko A. N.

Highway impact study of the efficiency of coating and base compaction with three-roller tandem compactors.....114

WRITING RULES AND GUIDELINES.....123

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.001

УДК 69.059.4; 69.07

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Г. Д. Шмелев, Э. В. Сазонов, М. С. Кононова

Шмелев Геннадий Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-52-49; e-mail: shmelev8@mail.ru

Сазонов Эдуард Владимирович, д-р техн. наук, профессор кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: edsazonov36@yandex.ru

Кононова Марина Сергеевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: kniga18@mail.ru

Рассмотрены вопросы анализа существующих подходов к мониторингу технического состояния строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений, описанные в нормативно-технической литературе. Рассмотрены и проанализированы типы мониторинга технического состояния зданий, особенности их проведения, имеющиеся несогласованности и разница в подходах к выполнению разных типов мониторинга. Проведено уточнение схемы мониторинга технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений. Рассмотрены основные контролируемые параметры и их предельные значения с точки зрения проведения мониторинга, а также прогноза технического состояния несущих и ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений различного назначения. Проведен анализ возможности использования предусмотренных в действующих нормативно-технических документах динамических испытаний строительных конструкций в условиях отсутствия объективных результатов при прогнозировании технического состояния конструкций по результатам вибрационных испытаний зданий. Выявлены значительные расхождения в подходах к проведению процедуры мониторинга технического состояния и мониторинга технического состояния зданий и сооружений, находящихся в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии. Сделана попытка провести увязку требований и рекомендаций действующего ГОСТ 31937-2011 по проведению мониторинга, для обеспечения плавного перехода по ключевым контролируемым параметрам от общего мониторинга к мониторингу зданий, находящихся в ограниченно работоспособном или аварийном техническом состоянии. Рассмотрены пути прогнозирования дальнейшего развития технического состояния строительных конструкций зданий, с использованием обобщенных параметров, характеризующих текущее фактическое техническое состояние строительных конструкций, с использованием методов параметрического прогнозирования и экспертных методов.

Ключевые слова: мониторинг; техническое состояние; строительные конструкции; контролируемые параметры; жилые и общественные здания; прогноз.

В соответствии с действующими нормативно-техническими документами в области технического мониторинга строительных конструкций зданий и сооружений, в частности ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», выделяют следующие основные типы мониторинга:

- ✓ общий мониторинг технического состояния зданий и сооружений;
- ✓ мониторинг технического состояния зданий и сооружений, находящихся в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии;
- ✓ мониторинг технического состояния зданий и сооружений, попадающих в зону влияния нового строительства, реконструкции или природно-техногенных воздействий;
- ✓ мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений.

В соответствии с текстом того же нормативно-технического документа (ГОСТ 31937-2011), в рамках проведения общего мониторинга технического состояния выполняются работы по визуальному осмотру в целях приблизительной оценки категории технического состояния, направленные на выявление объектов, изменение напряженно-деформированного состояния которых требует проведения обследования их технического состояния (п. 6.2.2. ГОСТ 31937-2011). Кроме того, там же предлагается проводить измерения динамических параметров конкретных зданий с последующим составлением паспорта здания.

Исходя из текста нормативно-технического документа, приведенного выше, получается, что основной задачей первичного визуального осмотра (первый этап мониторинга), является выявление строительных конструкций, получивших в процессе эксплуатации здания или сооружения негативные изменения напряженно-деформированного состояния. В дальнейшем рекомендуется (п.п. 6.2.3...6.2.5 ГОСТ 31937-2011), в зависимости от категории технического состояния перейти к измерению динамических параметров с интервалом два года (для нормативного и работоспособного технических состояний) или более частому для других технических состояний. При этом в документе отсутствуют рекомендации по контролю основных параметров конструкций, непосредственно влияющих на их напряженно-деформированное состояние, а соответственно и на уменьшение фактической несущей способности и жесткости этих конструкций и всего здания или сооружения в целом.

При мониторинге технического состояния зданий и сооружений, находящихся в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии рекомендуется (п. 6.3.2 ГОСТ 31937-2011):

- ✓ определять текущие динамические параметры объекта и сравнивать их с параметрами, измеренными на предыдущем этапе;
- ✓ фиксировать степень изменения ранее выявленных дефектов и повреждений конструкций объекта;
- ✓ выявлять вновь появившиеся дефекты и повреждения;
- ✓ проводить повторные измерения деформаций, кренов, прогибов и т.п.;
- ✓ сравнивать их значения со значениями аналогичных величин, полученных на предыдущем этапе.

При этом получается парадоксальная ситуация. До перехода строительных конструкций здания или сооружения в ограниченно работоспособное или аварийное техническое состояние наблюдение ведется только в виде визуального осмотра и измерения динамических параметров объекта. А в случае перехода конструкций в ограниченно работоспособное или аварийное техническое состояние уже требуется помимо измерения динамических параметров объекта, фиксировать степень изменений выявленных дефектов и повреждений. Но на начальном этапе мониторинга эти дефекты и повреждения фиксировать не требовалось. Кроме того, не требовалось, как указано выше, контролировать основные параметры конструкций, непосредственно влияющие на их напряженно-деформированное состояние, а соответственно уменьшение фактической несущей способности и жесткости этих конструкций.

Оценка динамических параметров зданий и сооружений, на которую идет значительный упор в ГОСТ 31937-2011, как при обследовании технического состояния, так и при мониторинге, требует наличия у организации дорогостоящего специального оборудования. При этом методика имеет ряд несовершенств и неточностей, на что указывается в работе [1] и целом ряде других научных работ, на которые ссылаются авторы.

Оставшиеся типы мониторинга технического состояния зданий и сооружений, попадающих в зону влияния нового строительства, реконструкции или природно-техногенных воздействий, а также для уникальных зданий и сооружений в рамках настоящей статьи рассматриваться не будут. Этим типам мониторинга посвящено большое количество научных статей и научно-практических работ различных авторов [2...8] и целого ряда других работ. В отмеченных работах часто приводятся схемы мониторинга, особенности его проведения, но при этом все сводится чаще всего к так называемому геотехническому мониторингу (для зданий, работающих в сложных геологических условиях) или автоматизированному мониторингу (для уникальных зданий).

В то же время (п. 6.1.1 ГОСТ 31937-2011) рекомендуется проводить мониторинг зданий и сооружений для:

- ✓ контроля технического состояния зданий и сооружений и своевременного принятия мер по устранению возникающих негативных факторов, ведущих к ухудшению этого состояния;
- ✓ выявления объектов, на которых произошли изменения напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и для которых необходимо обследование их технического состояния;
- ✓ обеспечения безопасного функционирования зданий и сооружений за счет своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения напряженно-деформированного состояния конструкций и грунтов оснований, которые могут повлечь переход объектов в ограниченно работоспособное или в -аварийное состояние;
- ✓ отслеживания степени и скорости изменения технического состояния объекта и принятия в случае необходимости экстренных мер по предотвращению его обрушения.

Указанные выше цели проведения мониторинга требуют не визуального (предварительного) обследования, а детального (инструментального) с контролем всех необходимых параметров строительных конструкций здания или сооружения, которые оказывают влияние на изменение напряженно-деформированного состояния [9, 10]. Однако ни в одном нормативно-техническом или справочном документе нет списка таких параметров.

Настоящая публикация посвящена более детальному рассмотрению вопросов мониторинга технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, связанных с общим мониторингом технического состояния, а также мониторингом технического состояния зданий и сооружений, находящихся в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии. Два эти типа мониторинга неразрывно связаны, так как техническое состояние строительных конструкций в соответствии с определениями, приведенными в СП 13-102-2003 «Правила обследования технического состояния несущих строительных конструкций зданий и сооружений» и ГОСТ 31937-2011, изменяется во времени в соответствии со следующей схемой (рис. 1). Переходы технического состояния между категориями на практике чаще всего происходят плавно, однако возможны и резкие переходы, с коротким пребыванием в той или иной категории, когда создаются впечатление о скачкообразном переходе через категорию.

В приведенной на рис. 1 схеме отсутствует категория технического состояния «нормативное», имеющаяся как в СП 13-102-2003, так и в ГОСТ 31937-2011. В обоих документах под нормативным техническим состоянием понимают такое состояние, *«при котором количественные и качественные значения параметров всех критериев оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, включая состояние грунтов основания, соответствуют установленным в проектной документации значениям с учетом пределов их изменения»*.

Последняя фраза в определении, указывающая на пределы изменения параметров, заложенных в проектной документации, требует дополнительных пояснений, так как нигде в строительной документации не встречается никаких пределов измерений.

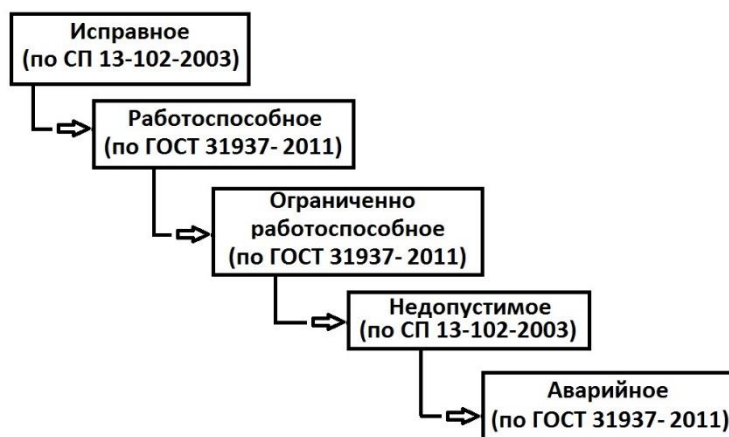


Рис. 1. Изменение технических состояний строительных конструкций во времени

Если авторы определения имели в виду допуски и посадки, принятые в технике (например, в машиностроительных чертежах), то следует отметить, что ничего подобного в строительных чертежах действующими нормами не предусматривается (за исключением особо ответственных стальных конструкций). Если авторами определения из нормативного документа имелись ввиду предельно допустимые отклонения для строительных конструкций, предусмотренные в СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87», то они в проектной или рабочей документации никогда не указывались и не указываются. Кроме того, в условиях строительной площадки соблюдение всех качественных и количественных значений параметров строительных конструкций на уровне полного соответствия проекту на современном уровне развития техники, с учетом большого количества ручного труда добиться практически невозможно. Соответственно категория технического состояния строительных конструкций «нормативное» по факту оказывается недостижимой и именно поэтому удаляется из дальнейшего рассмотрения.

Как видно из рис. 1, часть технических состояний в схеме принята по СП 13-102-2003, так как отсутствует в ГОСТ 31937-2011. Это сделано на основании п. 5.1.5 ГОСТ 31937-2011, в котором для определения категорий технического состояния строительных конструкций идет прямая отсылка к СП 13-102-2003.

Следует дополнительно отметить, что в настоящий момент, не существует однозначных значений конкретных параметров строительных конструкций, которые были бы четко привязаны к указанным выше категориям технического состояния. Попытки осуществить подобное были предприняты в работе [11]. В настоящий момент публикации на эту тему крайне редки.

Если рассмотреть общую систему мониторинга строительных конструкций зданий и сооружений, то ее схематично можно представить в следующем виде (рис. 2) [12, 13]:

Анализ, изложенных в п. 6.1.1 ГОСТ 31937-2011, целей мониторинга технического состояния зданий и сооружений показывает, что мониторинг проводят для:

- ✓ контроля технического состояния зданий и сооружений и своевременного принятия мер по устранению возникающих негативных факторов, ведущих к ухудшению этого состояния;
- ✓ выявления объектов, на которых произошли изменения напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и для которых необходимо обследование их технического состояния;
- ✓ обеспечения безопасного функционирования зданий и сооружений за счет своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения напряженно-деформированного состояния конструкций и грунтов оснований, которые могут повлечь переход объектов в ограниченно работоспособное или в аварийное состояние;

✓ отслеживания степени и скорости изменения технического состояния объекта и принятия в случае необходимости экстренных мер по предотвращению его обрушения.

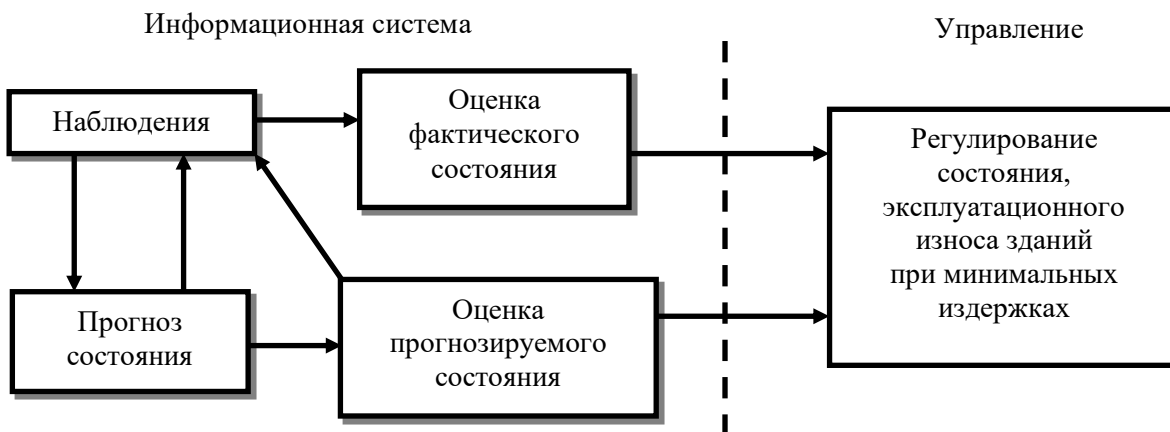


Рис. 2. Структурная схема мониторинга [12]

Сопоставление приведенной на рис. 2 схемы и целей мониторинга, указанных выше, показывает, что каждому блоку на схеме мониторинга (см. рис. 2) фактически соответствует одна из целей мониторинга (п. 6.1.1 ГОСТ 31937-2011).

Так, например, блок «Наблюдения» по факту соответствует контролю технического состояния. Блок «Оценка фактического состояния» соответствует цели – выявление объектов с изменениями напряженно-деформированного состояния конструкций. Блокам «Прогноз технического состояния» и «Оценка прогнозируемого состояния» соответствует цель – отслеживание степени и скорости изменения технического состояния объекта. Блоку «Регулирование состояния ...» соответствует цель – обеспечение безопасного функционирования зданий и сооружений. С учетом изложенного, схема мониторинга технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, может быть представлена в следующем виде (рис. 3).

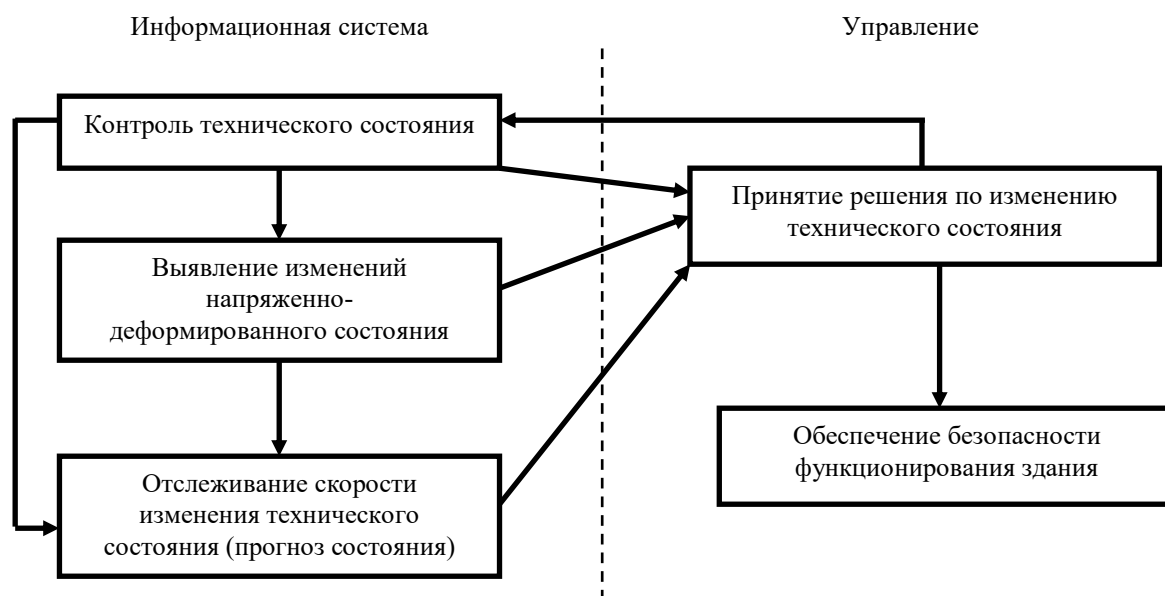


Рис. 3. Уточненная структурная схема мониторинга технического состояния зданий, с учетом целей, изложенных в п. 6.1.1 ГОСТ 31937-2011

Особенностью обеих схем мониторинга, представленных на рис. 2 и рис. 3, является блок прогнозирования технического состояния «Прогноз состояния» или «Отслеживание

скорости изменения технического состояния». Прогнозирование технического состояния для отдельных строительных конструкций здания может быть выполнено с использованием различных методов. В работе [12] приводится систематизация методов оценки и прогнозирования строительных конструкций, которые объединены в следующие группы: статистические, детерминированные, физико-статистические и экспертные.

Следует отметить, что группа статистических методов для строительных конструкций зданий и сооружений оказывается неприменима, ввиду невозможности накопления по зданию статистических данных об авариях или отказах строительных конструкций за период наблюдения за зданием.

Детерминированные методы, основанные на механике разрушения бетона, в существующем виде требуют сложных лабораторных исследований по внутренней структуре материалов с отбором образцов из самых напряженных мест конструкций, а также сложных математических вычислений с массивами данных, получение которых может быть экономически обосновано только для уникальных объектов.

Физико-статистические методы прогнозирования, в частности параметрические методы, в последние годы получили распространение ввиду относительной простоты их использования. В работах [9, 10, 13] сделана попытка провести систематизацию ключевых параметров конструкций, на основании которых возможно осуществить прогнозирование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений.

Экспертные методы («Метод Делфи», метод экспертных оценок, метод «мозгового штурма» и др.) подразумевают наличие команды экспертов, использования специальных методов анализа, систематизации мнений экспертов, а также математической обработки полученных результатов. В работе [10] автором предложены варианты экспертной оценки прогнозируемых изменений технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, основанные на использовании обобщенных параметров технического состояния, таких как: физический износ, вероятное снижение несущей способности и относительная поврежденность. Два последних параметра, для оценки технического состояния строительных конструкций были введены в работе [11]. Прогнозирование с использованием всех обобщенных параметров предлагается выполнять с использованием линейных и нелинейных моделей, по каждому обобщенному параметру. При этом следует отметить, что все три обобщенных параметра и предложенные модели прогнозирования фактически имитируют разные «мнения экспертов», которые в последующем обрабатываются с использованием известных методов обработки мнений экспертов.

Более подробно о самих методах параметрического и экспертного прогнозирования с использованием описанных выше моделей, а также практическом использовании такого прогнозирования описано в работах [10, 12, 13], а также в ряде других работ.

Таким образом, процесс мониторинга технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений должен рассматриваться как непрерывный процесс с момента обнаружения первых дефектов и повреждений. При этом, на наш взгляд, следует контролировать изменение не только динамических характеристик здания, но и другие ключевые параметры, отвечающие за прочность, несущую способность материалов и конструкций, а также жесткость всего здания в целом, приведенные в работах [9, 10, 13].

Заключение.

Изложенные в государственном стандарте (ГОСТ 31937-2011) требования к проведению мониторинга технического состояния в части общего мониторинга технического состояния зданий и сооружений и мониторинга технического состояния зданий и сооружений, находящихся в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии, рассматривают эти виды мониторинга как обособленные, не связанные друг с другом. В то же время, такой подход не позволяет провести полноценное наблюдение за образованием и развитием

повреждений строительных конструкций здания и своевременно спрогнозировать возможные переходы поврежденных конструкций из одного технического состояния в другое.

Предложенный подход к объединению двух групп мониторинга в единую модель, разработанную с учетом контроля изменений всех ключевых параметров, на всех этапах наблюдения за техническим состоянием строительных конструкций здания или сооружения, позволит получить более стройную картину развития деформаций и повреждений и своевременно спрогнозировать достижение предельного состояния, после достижения, которого следует принимать незамедлительные меры к ремонту или усилению поврежденных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ишков, А. Н.** Оценка значимости периода основного тона собственных колебаний зданий и сооружений, как критерия, определяющего техническое состояние гражданских зданий / А. Н. Ишков, Г. Д. Шмелев, Н. И. Филиппова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2017. – № 3(2). – С. 9-15.
2. **Видищева, Е. А.** Особенности мониторинга технического состояния строительных конструкций жилых зданий / Е. А. Видищева, Д. А. Сорокин, А. С. Тарасов // Труды братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 1. – С. 133-137.
3. **Рудольф, В. С.** Использование системы мониторинга горизонтальных стальных строительных конструкций для предотвращения чрезвычайных ситуаций, вызванных снеговой нагрузкой / В. С. Рудольф, А. А. Кондратович, А. А. Каминский, А. В. Суриков, В. А. Кудряшов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2. – № 1. – С. 53-66.
4. **Раевская, А. А.** Система мониторинга дворца спорта «Буртасы» / А. А. Раевская, А. О. Быков, И. А. Моторкин, М. И. Гарипова, Т. В. Дадыко // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей IX Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 19-22.
5. **Салов, А. С.** Оптимизация процессов мониторинга эксплуатируемых жилых зданий, расположенных вблизи нового строительства и реконструкции / А. С. Салов, Я. М. Клявлиня, Э. С. Гайнанова, Ю. А. Жукова // Вестник евразийской науки. – 2019. – Т. 11. – № 3 – С. 46.
6. **Мальцев, А. В.** Оптимизация методов определения напряженно деформируемого состояния зданий и сооружений / А. В. Мальцев, И. А. Атлашова // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. Сборник статей. Самарский государственный технический университет. – Самара. – 2017. – С. 276-279.
7. **Мусаев, В. К.** О приоритете мониторинга эксплуатационной безопасности строительного объекта / В. К. Мусаев, Е. В. Дикова, Н. С. Самойлов, В. В. Стародубцев, А. Б. Сергунов // Актуальные проблемы социально-экономической и экологической безопасности Приволжского региона. Сборник материалов VII международной научно-практической конференции. Казанский филиал МИИТ. – 2015. – С. 155-157.
8. **Дашко, Р. Э.** Инженерно-геологический анализ устойчивости зданий и сооружений Петропавловской крепости как основа для комплексного мониторинга // Р. Э. Дашко, А. В. Шидловская // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 11. – С. 14-20.
9. **Шмелев, Г. Д.** Систематизация определяющих параметров для прогноза остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев // Вестник МГСУ. – 2013. – № 8. – С. 89-96.
10. **Шмелев, Г. Д.** Методика оценки технического состояния, прогнозирования и обоснования остаточного срока службы строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, М. С.

Кононова, Н. А. Малева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 2(9). – С. 34-42.

11. **Мальганов, А. И.** Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. Атлас схем и чертежей / А. И. Мальганов, В. С. Плевков, А. И. Полищук. – Томск: Томский межотраслевой ЦНТИ, 1990. – 315 с.

12. **Шмелев, Г. Д.** Оценка остаточных сроков службы несущих железобетонных конструкций – основа мониторинга технического состояния зданий и инженерных сооружений / Г. Д. Шмелев // Оценка риска и безопасность строительных конструкций. Тезисы докладов. – Воронеж. – 2006. – С. 83-87.

13. **Шмелев, Г. Д.** Безопасность эксплуатируемых зданий на основе мониторинга технического состояния строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, А. И. Ишков // Строительная механика и расчет сооружений. – 2008. – № 5. – С. 66-70.

Поступила в редакцию 6 июня 2021

MONITORING AND PREDICTION OF TECHNICAL CONDITION OF STRUCTURAL UNITS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

G. D. Shmelev, E. V. Sazonov, M. S. Kononova

Shmelev Gennady Dmitrievich, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7 (473)271-52-49; e-mail: shmelev8@mail.ru

Sazonov Eduard Vladimirovich, Dr. Sc. (Tech.), Professor of the Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7 (473)271-28-92; e-mail: edsazonov36@yandex.ru

Kononova Marina Sergeevna, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(473)271-28-92; -mail: kniga18@mail.ru

We considered the issues of analysis for existing approaches to monitoring technical condition of structural units of operated buildings and structures that are described in the normative and technical literature. We considered and analyzed different types of monitoring technical condition of buildings, features of their implementation, existing inconsistencies and difference in approaches to performing different types of monitoring. As a result we clarified the scheme of monitoring technical condition of structural units of buildings and structures. The main controlled parameters and their limit values are considered from the point of view of monitoring, as well as prediction of the technical condition of load-bearing and enclosing structural units of buildings and structures for various purposes. We carried out the analysis of the possibility of using dynamic tests of structural units provided in the current regulatory and technical documents in the absence of objective results when predicting the technical condition of structures based on the results of vibration tests of buildings. Significant discrepancies were revealed in the approaches to the procedure of monitoring technical condition of buildings and structures that are in a limited operational or emergency condition. We made an attempt to link the requirements and recommendations of the current GOST 31937-2011 for monitoring, to ensure a smooth transition in key controlled parameters from general monitoring to monitoring of buildings that are in a limited operational or emergency technical condition. The ways of predicting further development of the technical condition of structural units of buildings are considered, using generalized parameters that characterize the current technical condition of structural units, using parametric prediction and expert methods.

Keywords: monitoring; technical condition; structural units; controlled parameters; residential and public buildings; prediction.

REFERENCES

1. **Ishkov A. N., Shmelev G. D., Filippova N. I.** *Assessment of the significance of the period of the fundamental tone of natural vibrations of buildings and structures as a criterion for determining the technical condition of civil buildings.* Housing and communal infrastructure. 2017. No. 3(2). Pp. 9-15. (in Russian)
2. **Vidischeva E. A., Sorokin D. A., Tarasov A. S.** *Features of monitoring the technical state of building structures of residential buildings.* Proceedings of the fraternal state university. Series: Natural and Engineering Sciences. 2018. Vol. 1. Pp. 133-137. (in Russian)
3. **Rudolph V. S., Kondratovich A. A., Kaminsky A. A., Surikov A. V., Kudryashov V. A.** *Using the monitoring system for horizontal steel building structures to prevent emergencies caused by snow load.* Bulletin of the University of Civil Protection of the Ministry of Emergencies of Belarus. 2018. Vol. 2. No. 1. Pp. 53-66. (in Russian)
4. **Raevskaya A. A., Bykov A. O., Motorkin I. A., Garipova M. I., Dadyko T. V.** *Monitoring system of the sports palace «Burtasy».* Fundamental and applied scientific research: topical issues, achievements and innovations. Collection of articles of the IX International Scientific and Practical Conference. 2018. Pp. 19-22. (in Russian)
5. **Salov A. S., Klyavlina Ya. M., Gainanova E. S., Zhukova Yu. A.** *Optimization of monitoring processes of operated residential buildings located near new construction and reconstruction.* Bulletin of Eurasian Science. 2019. Vol. 11. No. 3. Pp. 46. (in Russian)
6. **Maltsev A.V., Atlashova I.A.** *Optimization of methods for determining the stress-strain state of buildings and structures.* In the collection: Traditions and innovations in construction and architecture. Building. Digest of articles. Samara State Technical University. Samara. 2017. Pp. 276-279. (in Russian).
7. **Musaev V. K., Dikova E. V., Samoilov N. S., Starodubtsev V. V., Sergunov A. B.** *On the priority of monitoring the operational safety of a construction object.* Actual problems of socio-economic and environmental security of the Volga region. Collection of materials of the VII international scientific and practical conference. Kazan branch of MIIT. 2015. Pp. 155-157. (in Russian)
8. **Dashko R. E., Shidlovskaya A. V.** *Engineering-geological analysis of the stability of buildings and structures of the Peter and Paul Fortress as a basis for integrated monitoring.* Industrial and civil construction. 2015. No. 11. Pp. 14-20. (in Russian)
9. **Shmelev G. D.** *Systematization of the defining parameters for predicting the residual service life of building structures.* Bulletin of MGSU. 2013. No. 8. Pp. 89-96. (in Russian)
10. **Shmelev, G. D., Kononova M. S., Maleva N. A.** *Methodology for assessing the technical condition, forecasting and substantiating the residual service life of building structures.* Housing and communal infrastructure. 2019. No. 2 (9). Pp. 34-42. (in Russian)
11. **Malganov A. I., Plevkov V. S., Polishchuk A. I.** *Restoration and strengthening of building structures of emergency and reconstructed buildings.* Atlas of diagrams and drawings. Tomsk, Tomsk intersectoral CNTI. 1990. 315 p. (in Russian)
12. **Shmelev G. D.** *Assessment of the residual service life of bearing reinforced concrete structures – the basis for monitoring the technical condition of buildings and engineering structures.* Voronezh, In the book Risk Assessment and Safety of Building Structures. Abstracts of reports. 2006. Pp. 83-87. (in Russian)
13. **Shmelev G. D., Ishkov A. I.** *Safety of operated buildings on the basis of monitoring the technical condition of building structures.* Building mechanics and calculation of structures. 2008. No. 5. Pp. 66-70. (in Russian)

Received 6 June 2021

Для цитирования:

Шмелев, Г. Д. Мониторинг и прогноз технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / Г. Д. Шмелев, Э. В. Сазонов, М. С. Кононова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 9-18. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.001.

FOR CITATION:

Shmelev G. D., Sazonov E. V., Kononova M. S. *Monitoring and prediction of technical condition of structural units of buildings and structures.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 9-18. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.001. (in Russian)

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

ENGINEERING SYSTEMS AND COMMUNICATIONS

DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.002

УДК 628.511:533.6.011

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ, ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ В ЗОНЕ ЗАТОЧНЫХ СТАНКОВ

И. А. Бурьянов, И. Н. Логачев, К. И. Логачев, А. Б. Гольцов

Бурьянов Иван Александрович, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация, тел.: +7(919)430-80-10; e-mail: buryanov.vanya@yandex.ru

Логачев Иван Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация, тел.: +7(4722)55-94-38; e-mail: logachevin@mail.ru

Логачев Константин Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация, тел.: +7(4722)55-94-38; e-mail: kilogachev@mail.ru

Гольцов Александр Борисович, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация, тел.: +7(4722)55-88-03; e-mail: abgolcov@gmail.com.

При проведении работ по заточке твердосплавных инструментов абразивными кругами на универсальных заточных станках образуется значительное количество пылевых частиц. Часть пылевых частиц, в зависимости от размеров, находится во взвешенном состоянии. Длительное воздействие пылевых аэрозолей на организм рабочих может привести к развитию большого количества профессиональных заболеваний дыхательных путей. Установлено, что на характер движения пылевых частиц в рабочей зоне и скорость их осаждения влияет такой параметр, как форма пылевой частицы. Материал для исследования и расчета был собран на предприятии ООО «Русский инструмент», которое расположено в пгт. Северный, Белгородского района. Отбор проб производился в разных зонах заточного участка. На основе имеющихся проб пылевых частиц, на базе лаборатории БГТУ им. В. Г. Шухова, были получены результаты электронной микроскопии. Целью данной работы является определение коэффициента формы пылевых частиц, с использованием существующих методик определения данного коэффициента. Полученные результаты позволяют дополнить исходные данные для разработки математической модели процессов течения пылевых частиц вблизи местного отсоса и последующего компьютерного моделирования течений пылевых аэрозолей в кожухе-пылеуловителе.

Ключевые слова: местная вытяжная вентиляция; обеспыливающая вентиляция; пылеулавливание; коэффициент динамической формы; заточные станки; абразивная пыль; электронная микроскопия.

Производство металлорежущего инструмента из твердосплавных материалов (фрезы, метчики, зенкеры, сверла и др.) проходит в несколько этапов. Затачивание – одна из окончательных технологических операций, при выполнении которой обрабатывают передние и задние поверхности инструмента. Затачивание позволяет придать заданные геометрические параметры, форму режущей кромки, а также качество его поверхности [1]. Заточка изделий производится абразивными кругами различных диаметров. В ходе проведения данного вида работ образуются летучие пылевые аэрозоли [2, 3], которые попадают в область дыхания токаря - станочника. Основные параметры, определяющие характер воздействия пыли на

организм это:

- ✓ форма пылевых частиц;
- ✓ дисперсность пылевых частиц;
- ✓ химический состав пылевых частиц [4].

О большой опасности пылевых частиц размером менее 10 мкм (PM10) для органов человека говорится в работах [5, 6]. Данные частицы способны задерживаться в верхних дыхательных путях. Более мелкие пылевые частицы, размером 5 мкм и менее, проникают в легкие, вплоть до альвеол [7].

Исследования проводились на предприятии по производству металлорежущих инструментов ООО «Русский инструмент», расположенного в пгт. Северный, Белгородского района. На объекте уже имеется действующая система аспирации, имеющая две ступени очистки аспирируемого воздуха. В качестве первой ступени очистки используется циклон с обратным конусом, серии ЦМ 600У, в качестве второй – агрегат с установленным внутри фильтром класса очистки воздуха F9 (EU9). Был произведен отбор проб пылевых частиц, в разных частях заточного участка:

- ✓ пыль рабочей зоны (на поверхностях универсальных заточных станков 3е462е);
- ✓ пыль из бункера циклона цм 600у;
- ✓ пыль из бункера второй ступени очистки, с фильтром класса очистки f9 (eu9);
- ✓ пыль из поверхностей по периметру заточного участка.

Результаты пикнометрического и гранулометрического анализов отражены в [8]. Проведенный визуальный анализ пылевой обстановки на заточном участке показал, что в процессе выполнения работ на универсальных заточных станках типа 3Е462Е пылевые частицы распределяются по всей площади поверхностей заточного участка.

Функционирующая система аспирации (рис. 1) не справляется в полном объеме с решением вопроса локализации имеющихся вредных пылевых выделений.



Рис. 1. Система аспирации заточного участка ООО Производственная Фирма «Русский инструмент»

Так же следует отметить, что на универсальных заточных станках предприятия ООО «Русский инструмент» отсутствуют кожухи-пылеприемники для локализации вредных пылевых выделений, которые, по мнению авторов, необходимо использовать в качестве местных отсосов системы аспирации. Кожух-пылеуловитель, подключенный к системе аспирации, не только снижает концентрацию вредных веществ в рабочей зоне, но и своей конструкцией

защищает глаза и поверхности кожи токаря-станочника от попадания на них различных горячих окалинок, стружек и частиц абразива, которые выделяются в процессе заточных работ [9]. Воздействие пылевых аэрозолей на организм человека приводит к развитию профессиональных заболеваний пылевой этиологии, такие как пылевые бронхиты, пневмокониоз, астма и пр. [10]

Существенным отличием пылевых частиц от летучих соединений и паров является то, что в момент попадания в дыхательные пути происходит травмирование слизистых поверхностей или оседание. Принято разделять по форме и сравнительной протяженности частицы пылевых аэрозолей на три группы:

- ✓ частицы, имеющие в двух измерениях значительную протяженность, чем в третьем (чешуйки, пластинки и др.);
- ✓ частицы, имеющие большую протяженность в одном измерении (волокна, иглы, стержни);
- ✓ изометрические частицы, имеющие в трех измерениях примерно одинаковые размеры (правильный многогранник, шар) [11].

Результаты и их анализ. По мнению авторов, наиболее актуальная информация будет представлена на основе проб пылевых частиц, собранных с поверхности заточных станков. Данные частицы не попадают в процессе заточных работ в существующую аспирационную сеть и находятся в зоне дыхания и зрения токарей – станочников. Результаты электронной микроскопии пылевых частиц данной пробы представлены на рис. 2, 3. Результаты получены на аппарате MIRA3 TESCAN, при помощи детектора вторичных электронов SE (secondary electrons). Использование SE – детектора позволяет получить максимально точный и четкий результат при изучении морфологии поверхности.

В результате проведенного визуального анализа результатов электронной микроскопии образцов пылевых частиц пыли из зон универсальных заточных станков, было установлено, что преобладают по большей части частицы шарообразной и продолговатой формы (рис. 2, б). Так же, частицы могут иметь грубые и неровные края. Стоит отметить, что частицы шарообразной формы оседают быстрее, нежели частицы пластинчатой формы [12]. Частицы размером менее 20 мкм можно отнести к кускам неправильной формы или осколкам (рис. 3).

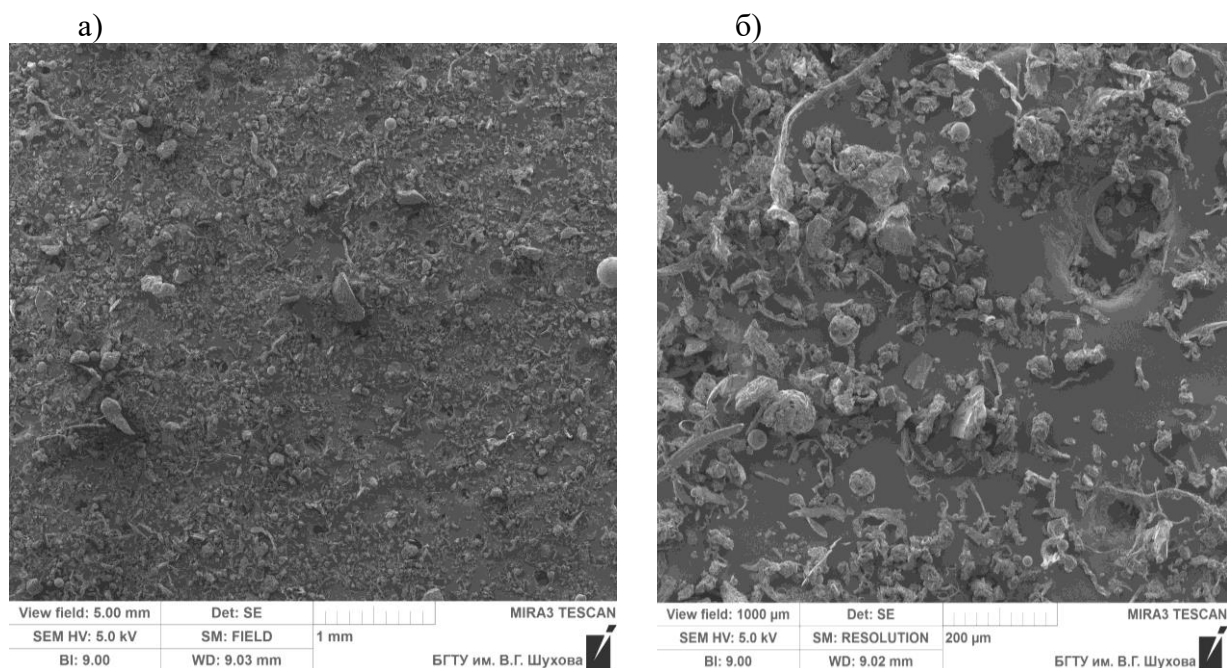


Рис. 2. Микроскопия образцов пылевых частиц на заточных станках:

а – при 40-кратном увеличении; б – при 200-кратном увеличении

Для определения численного значения коэффициента динамической формы пылевых частиц произвольно было выбрано несколько частиц различной формы (рис. 4). Образцы 1 и 2 имеют шарообразную форму, образцы 3 и 4 – пластинчатую. Форма определялась визуально. Главным критерием при выборе стала возможность определения размера частиц в трех измерениях (длины, ширины и толщины).

Подробно методика определения коэффициента динамической формы описана в [13].

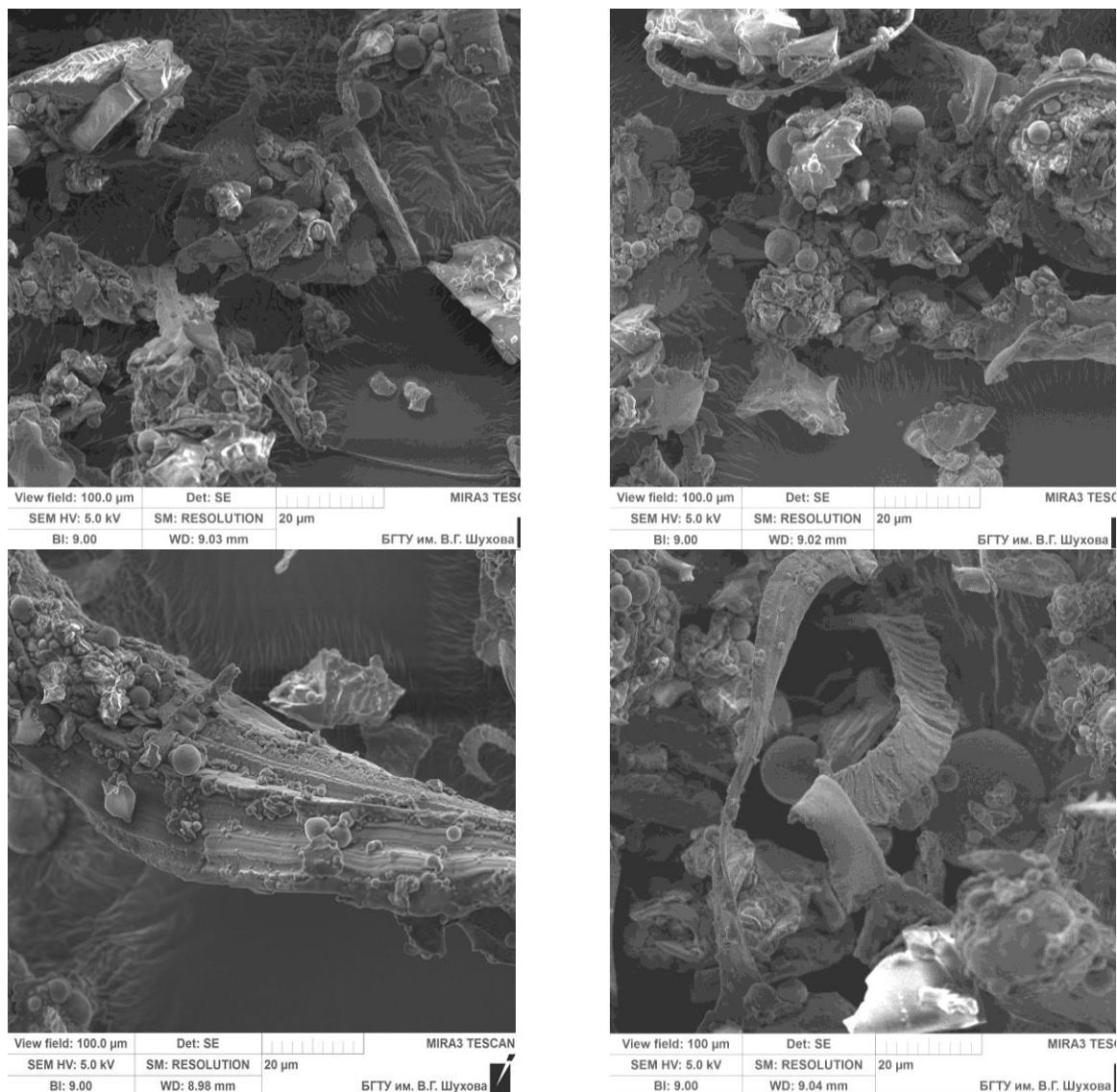


Рис. 3. Микроскопия образцов пылевых частиц на заточных станках при 2000-кратном увеличении

Первично необходимо определить объем выбранных частиц, V , мм^3 , для чего необходимо произвести измерения в трех направлениях с максимально возможной точностью. Объемы частиц для выбранных образцов составили:

$$V_1 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,14^3 = 0,0115 \text{ мм}^3$$

$$V_2 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,064^3 = 0,0011 \text{ мм}^3$$

$$V_3 = a \cdot b \cdot h = 0,38 \cdot 0,3 \cdot 0,016 = 0,0018 \text{ мм}^3$$

$$V_4 = a \cdot b \cdot h = 0,51 \cdot 0,064 \cdot 0,012 = 0,0004 \text{ мм}^3$$

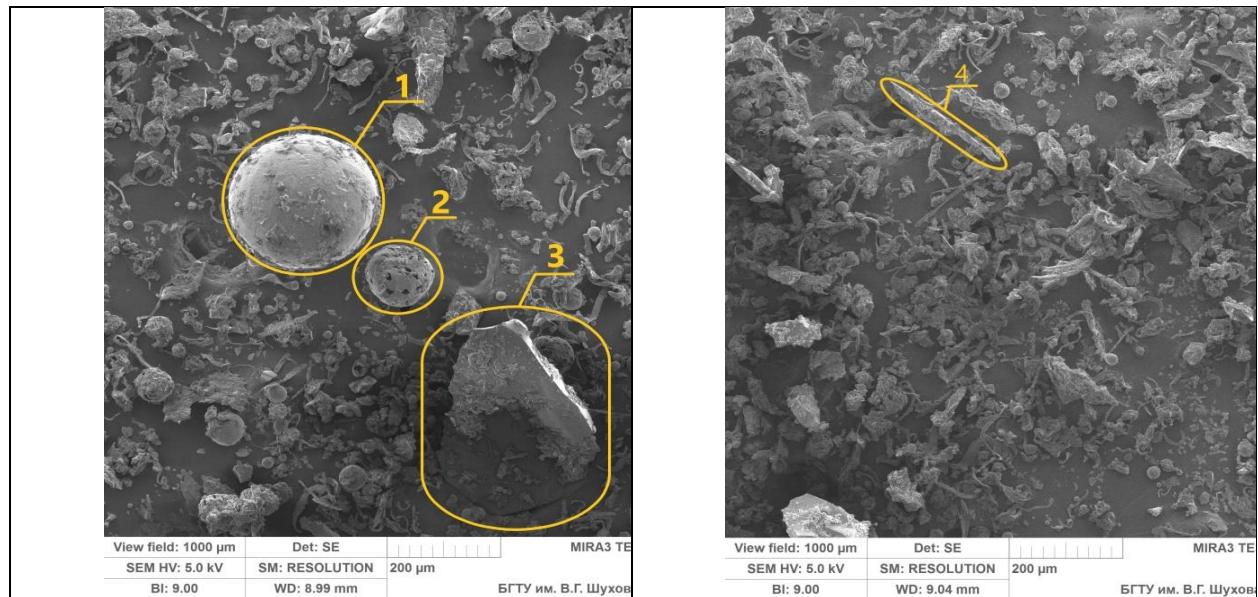


Рис. 4. Выборка частиц для определения коэффициента динамической формы:
1, 2 – образцы шарообразной формы, 3, 4 – образцы пластинчатой формы

Далее найдем диаметр шара, $d_{э}$, эквивалентного по объему рассматриваемой частице:

$$d_{э1} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_1}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,0115}{3,14}} = 0,28 \text{ мм};$$

$$d_{э2} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_2}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,0011}{3,14}} = 0,128 \text{ мм};$$

$$d_{э3} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_3}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,0018}{3,14}} = 0,15 \text{ мм};$$

$$d_{э4} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_4}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,0004}{3,14}} = 0,091 \text{ мм}.$$

Площадь эквивалентного размера по объему шара, $S'_{ш}$, равна:

$$S'_{ш1} = \pi \cdot d_{э1}^2 = 3,14 \cdot 0,28^2 = 0,25 \text{ мм}^2;$$

$$S'_{ш2} = \pi \cdot d_{э2}^2 = 3,14 \cdot 0,128^2 = 0,051 \text{ мм}^2;$$

$$S'_{ш3} = \pi \cdot d_{э3}^2 = 3,14 \cdot 0,15^2 = 0,071 \text{ мм}^2;$$

$$S'_{ш4} = \pi \cdot d_{э4}^2 = 3,14 \cdot 0,091^2 = 0,026 \text{ мм}^2.$$

Площадь эквивалентной по объему частицы, $S'_{ч}$, равна:

$$S'_{ч3} = 2 \cdot a \cdot b + 2 \cdot a \cdot h + 2 \cdot b \cdot h = 2 \cdot 0,38 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,38 \cdot 0,016 + 2 \cdot 0,3 \cdot 0,016 = 0,25 \text{ мм}^2$$

$$S'_{ч4} = 2 \cdot a \cdot b + 2 \cdot a \cdot h + 2 \cdot b \cdot h = 2 \cdot 0,51 \cdot 0,064 + 2 \cdot 0,51 \cdot 0,012 + 2 \cdot 0,064 \cdot 0,012 = 0,08 \text{ мм}^2$$

Определим коэффициент формы, f , для рассматриваемых частиц:

Для образцов 1 и 2 частица имеет шарообразную форму, поэтому

$$f_{1,2} = \frac{S'_{ч}}{S'_{ш}} = 1;$$

$$f_3 = \frac{S'_{ч3}}{S'_{ш3}} = \frac{0,25}{0,071} = 3,52;$$

$$f_4 = \frac{S'_{ч4}}{S'_{ш4}} = \frac{0,08}{0,026} = 3,08.$$

Для определения критерия Архимеда шарообразной частицы, эквивалентной рассматриваемой, примем значения динамической вязкости $\mu_{в}$ и плотности воздуха $\rho_{в}$ равными $1,82 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$ и $1,2 \text{ кг} / \text{м}^3$ соответственно (при температуре воздуха в помещении цеха $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Значение плотности частицы $\rho_{ч}$ определено в работе [8], и равняется $4043 \text{ кг} / \text{м}^3$ для данного образца пыли. Критерий Архимеда равен:

$$Ar_1 = \frac{g \cdot d_1^3 \cdot (\rho_{ч} - \rho_{в}) \cdot \rho_{в}}{\mu_{в}} = \frac{9,81 \cdot 0,00028^3 \cdot (4043 - 1,2) \cdot 1,2}{18,2 \cdot 10^{-5}} = 0,0057;$$

$$Ar_2 = \frac{g \cdot d_2^3 \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}}) \cdot \rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}} = \frac{9,81 \cdot 0,000128^3 \cdot (4043 - 1,2) \cdot 1,2}{18,2 \cdot 10^{-5}} = 0,00055;$$

$$Ar_3 = \frac{g \cdot d_3^3 \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}}) \cdot \rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}} = \frac{9,81 \cdot 0,00015^3 \cdot (4043 - 1,2) \cdot 1,2}{18,2 \cdot 10^{-5}} = 0,00088;$$

$$Ar_4 = \frac{g \cdot d_4^3 \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}}) \cdot \rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}} = \frac{9,81 \cdot 0,000091^3 \cdot (4043 - 1,2) \cdot 1,2}{18,2 \cdot 10^{-5}} = 0,0002.$$

Вычислим число Рейнольдса, Re , и по полученному значению определим режим обтекания эквивалентной частицы:

$$Re_1 = \frac{Ar_1}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{Ar_1}} = \frac{0,0057}{18,045} = 0,0003;$$

$$Re_2 = \frac{Ar_2}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{Ar_2}} = \frac{0,00055}{18,014} = 0,00003;$$

$$Re_3 = \frac{Ar_3}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{Ar_3}} = \frac{0,00088}{18,018} = 0,0001;$$

$$Re_4 = \frac{Ar_4}{18 + 0,6 \cdot \sqrt{Ar_4}} = \frac{0,0002}{18,01} = 0,000011.$$

С учетом значения числа Рейнольдса, определенного выше, определим значение коэффициента динамической формы для рассматриваемых частиц:

$$\chi_1 = \frac{1}{(0,843 \lg \frac{1}{0,065 \cdot f_1})} = \frac{1}{1,0007} \approx 1;$$

$$\chi_2 = \frac{1}{(0,843 \lg \frac{1}{0,065 \cdot f_2})} = \frac{1}{1,0007} \approx 1;$$

$$\chi_3 = \frac{1}{(0,843 \lg \frac{1}{0,065 \cdot f_3})} = \frac{1}{0,54} = 1,67;$$

$$\chi_4 = \frac{1}{(0,843 \lg \frac{1}{0,065 \cdot f_4})} = \frac{1}{0,59} = 1,7.$$

Согласно расчетам, полученные значения коэффициентов динамической формы для рассматриваемых частиц шарообразной формы приблизительно равны 1, для частиц пластинчатой формы значения находятся в диапазоне 1,67...1,7. Рассматривая пластинчатые частицы, было установлено, что геометрические размеры ширины и высоты данных частиц превосходят толщину более чем в 10 раз. Это позволяет отнести их к классификации чешуек.

Заключение.

На основе результатов электронной микроскопии образцов пыли, собранных на производстве в зоне работы токарей-станочников, визуально было определено, что в рассматриваемых образцах присутствуют частицы шарообразной и пластинчатой формы, различной протяженности.

Произведен расчет, на основании которого был определен коэффициент динамической формы частиц. Для частиц пластинчатой формы, коэффициент динамической формы находится в диапазоне 1,67...1,7.

Полученные результаты работы позволяют дополнить информацию для производства компьютерного моделирования течений пылевых аэрозолей в коже – пылеприемнике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Звягольский, Ю. С.** Технология производства режущего инструмента: учебное пособие для вузов / Ю. С. Звягольский, В. Г. Солоненко, А. Г. Схирталдзе. – М.: Изд-во Высшая школа, 2010. – 334 с.
2. **Ojima, J.** Efficiency of a tool-mounted local exhaust ventilation system for controlling dust exposure during metal grinding operations / J. Ojima // *Industrial health*. – 2007. – Т. 45. – № 6. – Pp. 817-819.
3. **Berlinger, B.** Workplace exposure to particulate matter, bio-accessible, and non-soluble metal compounds during hot work processes / U. Skogen, C. Meijer, Y. Thomassen // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. – 2019. – Т.16. – №. 6. – Pp. 378-386. – DOI: 10.1080/15459624.2019.1594841
4. **Крюкова, О. С.** Влияние на здоровье человека пылевых аэрозолей, образуемых в маникюрных кабинетах и способы определения коэффициента их формы / О. С. Крюкова, В. А. Ткаченко // Поколение будущего: взгляд молодых сборник научных статей 8-й Международной молодежной научной конференции. Юго-Западный государственный университет. – Курск, 2019. – С. 355 – 359.
5. **Азаров, В. Н.** Анализ дисперсного состава пыли в техносфере: учебное пособие / В. Н. Азаров, Е. Ю. Есина, Н. В. Азарова. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2008. – 46 с.
6. **Mukherjee, A.** World air particulate matter: sources, distribution and health effects / A. Mukherjee, M. Agrawal // *Environmental Chemistry Letters*. – 2017. – № 15. – Pp. 283-309. – DOI: 10.1007/s10311-017-0611-9
7. **Штокман, Е. А.** Очистка воздуха / Е. А. Штокман. – М.: Изд-во: АСВ, 1998. – 320 с.
8. **Бурьянов, И. А.** Определение основных свойств пылевых частиц заточного участка / И. А. Бурьянов, К. И. Логачев, В. А. Уваров // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – 2020. – № 10. – С. 23-32. – DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-10-23-32
9. **Dado, M.** Efficiency of Local Exhaust Ventilation System during Stainless Steel Grinding / M. Dado, M. Schwarz, A. Očkajová, R. Hnilica // *Article in Manufacturing Technology*. – 2016. – Vol. 16. – № 1. – Pp 49-53.
10. **Аверков, А. А.** Экологические проблемы производства прокатных валков / А. А. Аверков, О. А. Аверкова, Ю. А. Дорошенко, К. И. Логачев // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. – 2009. – № 3. – С. 172-176.
11. **Гаврилова, Н. Н.** Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов: учебное пособие / Н. Н. Гаврилова, В. В. Назаров, О. В. Яровая. – М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. – 52 с.
12. **Аверкова, О. А.** Исследование физико-механических свойств пыли, образуемой в маникюрных кабинетах / О. А. Аверкова, И. В. Крюков, В. А. Уваров, В. А. Минко, О. С. Крюкова // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – 2019. – № 2. – С. 69-80. – DOI: 10.12737/article_5c73fc18596104.60696082
13. **Разумов, И. М.** Пневмо и гидротранспорт в химической промышленности / И. М. Разумов. – М.: Химия, 1979. – 248 с.

Поступила в редакцию 9 марта 2021

**DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF THE DYNAMIC SHAPE
OF DUST PARTICLES RELEASED IN THE AREA OF GRINDING MACHINES**

I. A. Buryanov, I. N. Logachev, K. I. Logachev, A. B. Goltsov

Buryanov Ivan Aleksandrovich, post-graduate student, Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia, phone: +7(919)430-80-10; e-mail: buryanov.vanya@yandex.ru

Logachev Ivan Nikolaevich, Dr. Sc. (Techn.), Professor, Head Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia, phone: +7(4722)55-94-38; e-mail: logachevin@mail.ru

Logachev Konstantin Ivanovich, Dr. Sc. (Techn.), Professor, Head Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia, phone: +7(4722)55-94-38; e-mail: kilogachev@mail.ru

Goltsov Alexander Borisovich, Cand. Sc. (Techn.), Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia, phone: +7(4722)55-88-03; e-mail: abgolcov@gmail.com

When working on sharpening carbide tools with abrasive wheels on universal grinding machines, a significant amount of dust particles is formed. A certain part of the dust particles, depending on the size, is suspended. Prolonged exposure to dust aerosols on the body of machine turners can lead to the development of a large number of occupational diseases of the respiratory tract. It is established that in the working area, the nature of the movement of dust particles, as well as the rate of their deposition, is affected by such a parameter as the shape of the dust particle. The material for the study, calculation and subsequent computer simulation of the dust aerosol flows in the dust collector casing was collected at the OOO Russian Tool, which is located in the village Severny, Belgorod district. The samples were taken in different zones of the grinding area. Based on the available samples of dust particles, the results of electron microscopy were obtained at the laboratory of BSTU named after V. G. Shukhov. The purpose of this work is to describe the results obtained and determine the shape coefficient of dust particles, using existing methods for determining this coefficient. The material of the work allows us to supplement the initial data for the development of a mathematical model of the processes of the flow of dust particles near the local suction.

Keywords: local exhaust ventilation; non-dust ventilation; dust extraction; dynamic shape coefficient; grinding machines; abrasive dust; electron microscopy.

REFERENCES

1. **Zvyagolsky Yu. S., Solonenko V. G., Skhirtaldze A. G.** *Technology of production of cutting tools: a textbook for universities*. Moscow, Publishing house Higher School. 2010. 334 p. (in Russian)
2. **Ojima J.** *Efficiency of a tool-mounted local exhaust ventilation system for controlling dust exposure during metal grinding operations*. Industrial health. 2007. T. 45. No. 6. Pp. 817-819.
3. **Skogen U., Meijer C., Thomassen Y.** *Workplace exposure to particulate matter, bio-accessible, and non-soluble metal compounds during hot work processes*. Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2019. T. 16. No. 6. Pp. 378-386. DOI: 10.1080/15459624.2019.1594841
4. **Kryukova O. S., Tkachenko V. A.** *Influence on human health of dust aerosols formed in manicure rooms and methods for determining the coefficient of their shape*. Generation of the future: the view of the young collection of scientific articles of the 8th International Youth Scientific Conference. Southwestern State University. Kursk. 2019. Pp. 355-359. (in Russian)
5. **Azarov V. N., Esina E. Yu., Azarova N. V.** *Analysis of the dispersed composition of dust in the technosphere: textbook*. Volgograd, Publishing House VolgGASU. 2008. 46 p. (in Russian)
6. **Mukherjee A., Agrawal M.** *World air particulate matter: sources, distribution and health effect*. Environmental Chemistry Letters. 2017. No. 15. Pp. 283-309. DOI: 10.1007/s10311-017-0611-9
7. **Shtokman E. A.** *Air purification*. Publishing house ASV. 1998. 320 p. (in Russian)
8. **Buryanov I. A., Logachev K. I., Uvarov V. A.** *Determination of the main properties of dust particles of the grinding area*. Herald of the BSTU named after V. G. Shukhov. 2020. No. 10. Pp. 23-32. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-10-23-32 (in Russian)

9. **Dado M., Schwarz M., Očkajová A., Hnilica R.** *Efficiency of Local Exhaust Ventilation System during Stainless Steel Grinding*. Article in Manufacturing Technology. 2016. Vol. 16. No. 1. Pp 49-53.
10. **Averkov A. A., Averkova O. A., Doroshenko Yu. A., Logachev K. I.** *Ecological problems of production of rolling rolls*. Herald of the BSTU named after V.G. Shukhov. 2009. No. 3. Pp. 172-176. (in Russian)
11. **Gavrilova N. N., Nazarov V. V., Yarovaya O. V.** *Microscopic methods for determining the size of particles of dispersed materials: textbook*. Publishing House of the D. I. Mendeleev Russian State Technical University. 2012. 52 p. (in Russian)
12. **Averkova O. A., Kryukov I. V., Uvarov V. A., Minko V. A., Kryukova O. S.** *Research of physical and mechanical properties of dust formed in manicure cabinets*. Herald of the BSTU named after V. G. Shukhov. 2019. No. 2. Pp. 69-80. DOI: 10.12737/article_5c73fc18596104.60696082 (in Russian)
13. **Razumov I. M.** *Pneumo and hydrotransport in the chemical industry*. Publishing house Chemistry. 1979. 248 p. (in Russian)

Received 9 March 2021

Для цитирования:

Бурьянов, И. А. Определение коэффициента динамической формы пылевых частиц, выделяющихся в зоне заточных станков / И. А. Бурьянов, И. Н. Логачев, К. И. Логачев, А. Б. Гольцов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 19-27. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.002.

FOR CITATION:

Buryanov I. A., Logachev I. N., Logachev K. I., Goltsov A. B. *Determination of the coefficient of the dynamic shape of dust particles released in the area of grinding machines*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 19-27. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.002. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.003

УДК 697.922.2; 697.921.45

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕНТИЛЯТОРОВ-ДОВОДЧИКОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРА

Б. П. Новосельцев, И. И. Шамилова

Новосельцев Борис Петрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-52-49, тел.: +7(473)223-44-56; e-mail: belebey36@mail.ru

Шамилова Ирина Игоревна, магистрант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(952)103-73-64; e-mail: irashamilova@yandex.ru

Объём потребления энергии, в том числе и электрической, в нашей стране непрерывно увеличивается. В связи с этим возникает необходимость максимального снижения затрат электрической энергии. В статье рассматривается возможность снижения электрической энергии в приточных системах вентиляции за счёт использования вентиляторов-доводчиков. Приведены результаты аэродинамического расчета двух вариантов приточной системы вентиляции промышленного здания. Первый вариант – традиционная схема с одним общим центральным вентилятором. Второй вариант – схема с использованием вентиляторов-доводчиков на отдельных ветвях системы. В результате проведенных расчетов показано, что установка вентиляторов-доводчиков позволит существенно снизить нагрузку на привод центрального вентилятора.

Ключевые слова: приточная система вентиляции; потери давления; вентилятор-доводчик; экономия электрической энергии; аэродинамические свойства систем вентиляции.

Проблема энергосбережения в настоящий момент является наиболее значимой и масштабной, в том числе применительно к системам механической вентиляции. Система вентиляции может быть спроектирована по различным схемным решениям, отличающимися степенью разветвленности, количеством и длиной параллельных ветвей. [1] Главным показателем аэродинамической эффективности системы вентиляции для различных вариантов конструктивных решений является потребляемая мощность электрической энергии. Основным способом снижения расхода потребляемой электроэнергии служит уменьшение аэродинамических потерь системы вентиляции [2].

В ряде случаев, например, если вентиляционная система состоит из нескольких ветвей с сильно отличающимися аэродинамическими потерями или расходом, для увеличения эффективности будет оптимально разделить ее на несколько отдельных (независимых) систем [3]. Параллельное соединение представляет из себя несколько независимых друг от друга ветвей, которые берут начало в одной общей точке, при этом общий объём воздуха равен количеству воздуха, проходящему по каждой из параллельных ветвей [4]. Использование параллельного соединения нескольких ветвей с учетом их аэродинамических особенностей позволяет уменьшить расход электроэнергии на перемещение воздуха по воздуховодам.

Возможен и другой путь снижения расхода электрической энергии – это установка вентиляторов – доводчиков, и в том числе при использовании осевых вентиляторов.

Перечисленные способы целесообразно применять для подачи приточного воздуха в помещения первой категории. К этой категории относятся помещения, высота которых составляет от 6 до 18 м (производственные цеха машиностроительных заводов); помещения, находящиеся в зданиях с шириной пролётов от 12 до 36 м. Кратность воздухообмена для таких помещений составляет до $7 \frac{1}{4}$ [5].

Рассмотрим два варианта подачи приточного воздуха в производственное помещение размерами 72 на 48 м. На рис. 1 показан производственный цех размерами 72 на 48 м, на плане представлена традиционная сеть приточной вентиляции. В приточной камере установлен многостворчатый клапан, фильтр для очистки воздуха от пыли, калорифер и глушитель шума. На рис. 2 представлена схема исследуемой системы.

Вентилятор подаёт воздух в вентиляционную сеть, состоящую из трёх ветвей. Производительность приточной установки $L = 120000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Раздача воздуха осуществляется через воздухораспределители. Сеть состоит из десяти участков: длины каждого участка показаны на рис. 1, а расходы воздуха показаны на рис. 2.

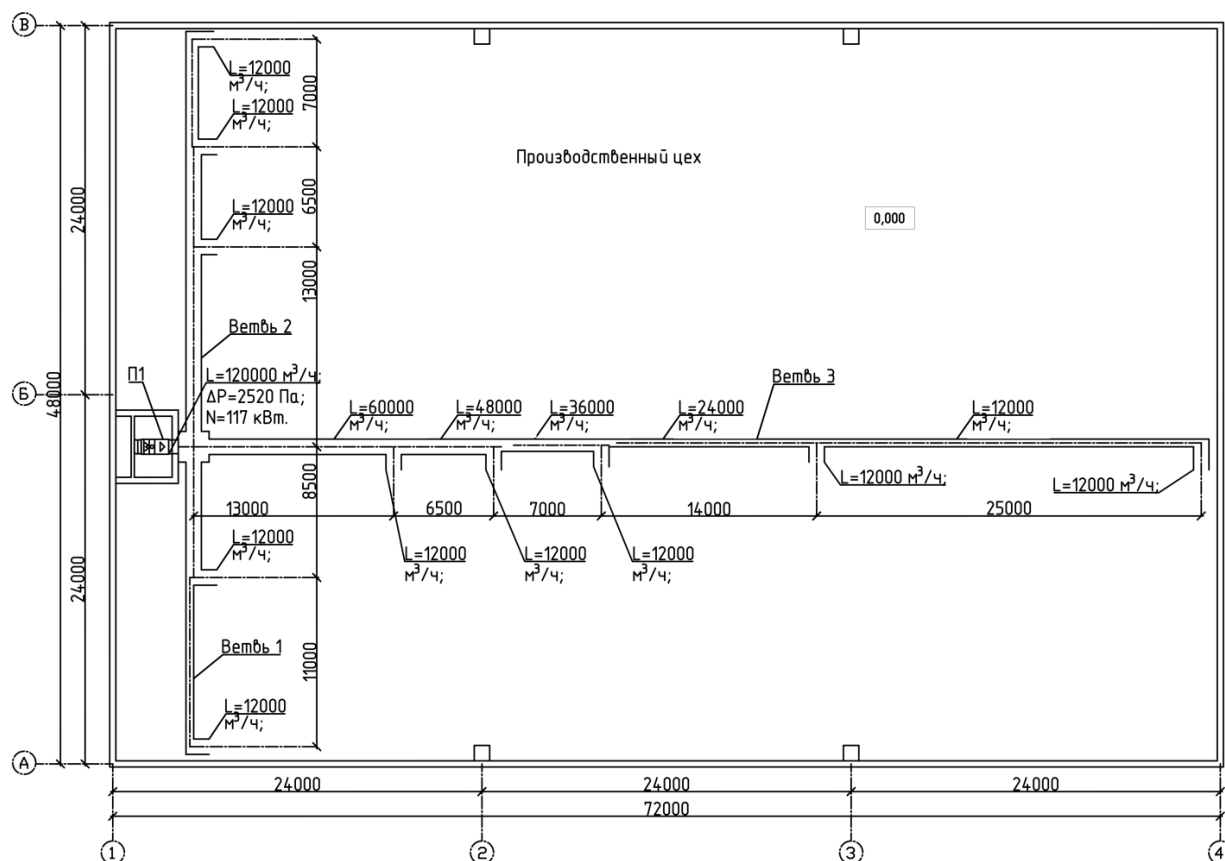


Рис. 1. План воздуховодов вентиляционной сети с одним центральным вентилятором

В данной системе присутствует камера нулевого статического давления, пьезометрическое давление (разряжение) в которой равно потерям давления в воздуховоде-ответвлении, имеющем наибольшее сопротивление из всех ответвлений, подключенных к камере. Соответственно, потери давления в любом ответвлении должны быть численно равны относительному пьезометрическому давлению (разряжению) в камере. При расчёте необходимо тщательно увязывать потери давления в отдельных ответвлениях сети, допуская невязку не более $\pm 5 \%$ [6].

На основании расчётной схемы, представленной на рис. 2, был произведен аэродинамический расчёт приточной системы вентиляции. Так как ветви 1 и 2 более короткие, то для увязки потерь давления между ветвями 1, 2 и 3 следует увеличить потери давления в ветвях 1 и 2, за счёт увеличения скорости движения воздуха, до давления, равного в ветви 3 [7]. По результатам аэродинамического расчёта был подобран радиальный вентилятор с мощностью электродвигателя 117 кВт [8].

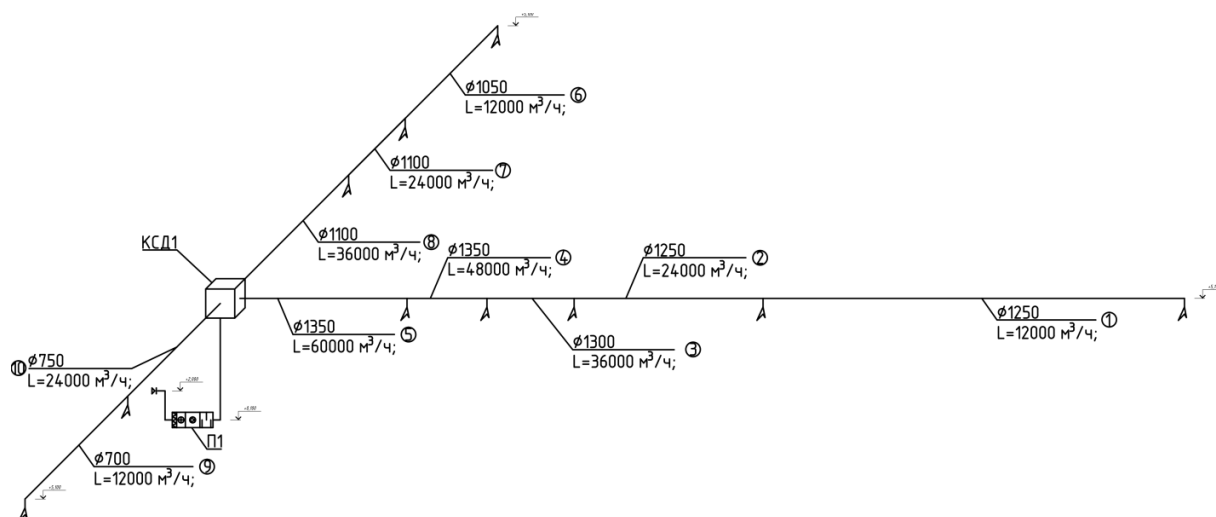


Рис. 2. Расчетная схема приточной системы вентиляции с одним центральным вентилятором

Результаты аэродинамического расчёта представлены в табл. 1.

Таблица 1

Аэродинамический расчёт системы с одним центральным вентилятором

№ участка	Расход воздуха, L, м³/ч	Скорость воздуха ϑ , м/с	Диаметр, d, мм	Длина участка l, м	Потери давления по длине Rl, Па	Потери давления на коэффициенты местного сопротивления, Z, Па	Общие потери, Rl+Z, Па
Ветвь № 3							
1	12000	3	1250	24	130	6	136
2	24000	6	1250	13	281	25	306
3	36000	7	1300	6	176	63	240
4	48000	9	1350	5,5	267	104	372
5	60000	11	1350	11,5	835	156	991
							2044
Ветвь № 2							
6	12000	6	1050	6	130	25	154
7	24000	10	1100	5,5	330	129	459
8	36000	13	1100	11,5	1166	218	1384
							1998
Ветвь № 1							
9	12000	10	700	10	600	69	669
10	24000	15	750	7	945	425	1370
							2039

Далее рассмотрен вариант работы приточной системы с установкой вентиляторов-доводчиков (рис. 3), которые компенсируют часть потерь давления, позволяя тем самым уменьшить нагрузку на центральный вентилятор. На рис. 4 представлена расчётная схема приточной системы вентиляции с вентиляторами-доводчиками № 1, 2, 3.

В качестве магистральной ветви принята ветвь один, так как она является ветвью с минимальными потерями. В ветвях два и три установлены вентиляторы-доводчики, которые компенсируют соответствующее превышение потерь. Ветвь два состоит из трёх участков (№ 6, 7, 8). На ней в конце участка № 7 установлен вентилятор-доводчик № 3. Ветвь три

поделена на три части, каждая из которой включает один или два участка. В конце второго участка установлен вентилятор-доводчик № 1, в конце третьего участка установлении вентилятор-доводчик № 2. Следовательно, в ветви три подача воздуха осуществляется тремя последовательно установленными вентиляторами с разной производительностью (основной вентилятор, вентилятор-доводчик № 1, вентилятор-доводчик № 2).

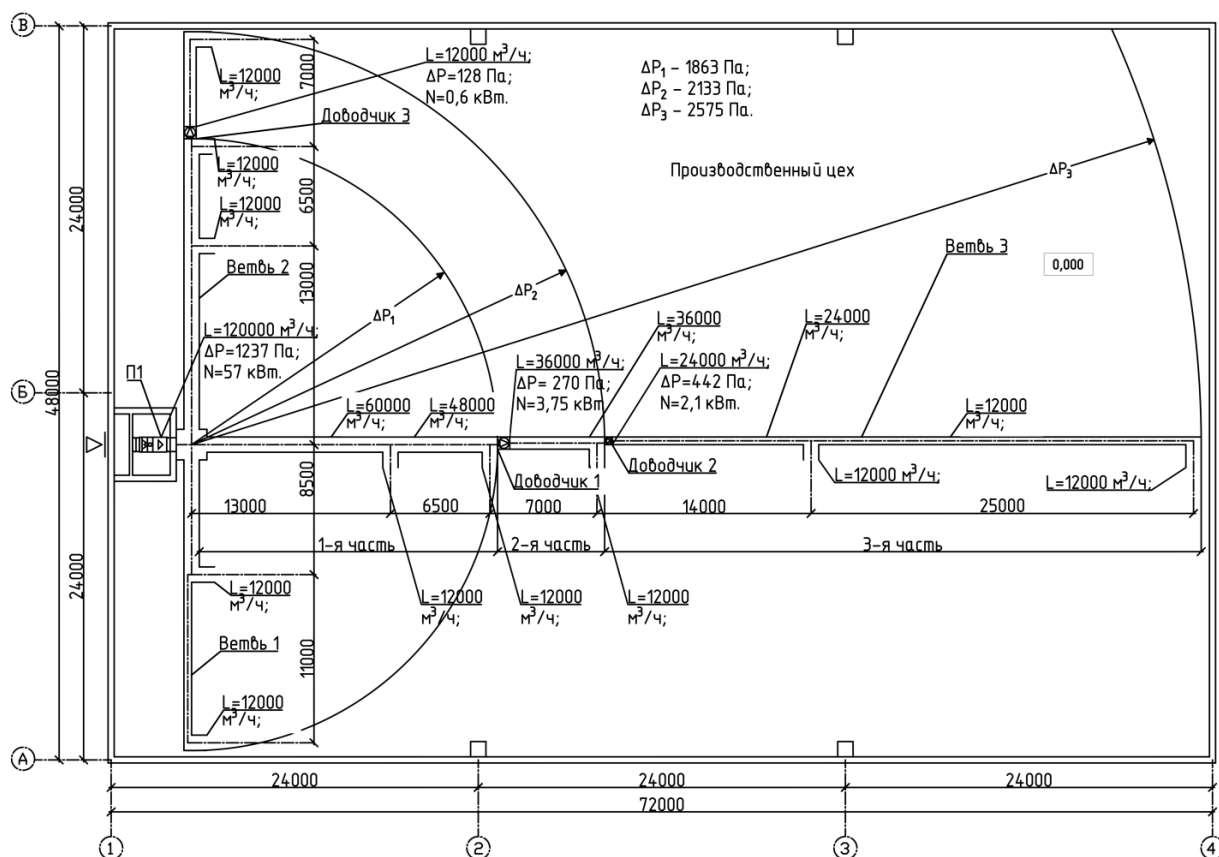


Рис. 3. План воздуховодов вентиляционной сети с вентиляторами-доводчиками

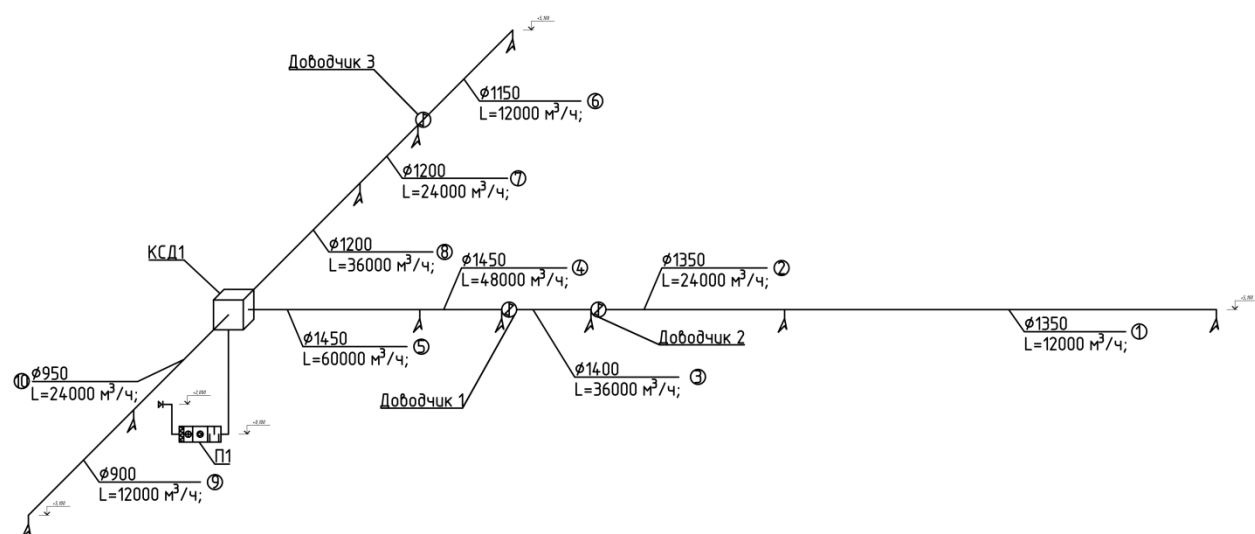


Рис. 4. Расчетная схема приточной системы вентиляции с вентиляторами-доводчиками

При последовательном включении трёх вентиляторов основной вентилятор следует подобрать на суммарную производительность ветвей 1, 2 и 3, и на потери давления в ветви 1. При таком решении ветвь 1 и часть ветви 2 (до вентилятора-доводчика № 3), и ветвь 3 до

вентилятора-доводчика № 1 будут увязаны в гидравлическом отношении, а потери давления (рис. 3) будут равны ΔP_1 .

Преимущество использования вентиляторов-доводчиков заключается в их малой производительности и низком расходе электрической энергии. Для того, чтобы вентилятор-доводчик правильно работал перед, ним необходимо иметь небольшой избыток давления в 30...50 Па [9].

С учётом выше изложенного следует:

- ✓ в камере нулевого статического давления давление равно потерям в первой ветви;
- ✓ вентилятор-доводчик №3 подбираем на производительность 12000 м³/ч и потери давления равные $\Delta P_2 - \Delta P_1$;
- ✓ вентилятор-доводчик №1 подбираем на производительность 36000 м³/ч и потери давления равные $\Delta P_2 - \Delta P_1$;
- ✓ вентилятор-доводчик №2 подбираем на производительность 24000 м³/ч и потери давления равные $\Delta P - \Delta P_2$.

Аэродинамический расчёт участков № 6, 3, 2, 1 приведен в табл. 2.

Таблица 2

Аэродинамический расчёт системы с вентиляторами-доводчиками

№ участка	Расход воздуха, L, м ³ /ч	Скорость воздуха, v, м/с	Диаметр, d, мм	Длина участка, l, м	Потери давления по длине, Rl, Па	Потери давления на коэффициенты местного сопротивления, Z, Па	Общие потери, Rl+Z, Па
Ветвь № 3							
1	12000	3	1250	24	130	6	136
2	24000	6	1250	13	281	25	306
3	36000	7	1300	6	176	93	270
4	48000	9	1350	5,5	267	134	402
5	60000	11	1350	11,5	835	156	991
							2 104
Ветвь № 2							
6	12000	6	1050	6	130	25	154
7	24000	10	1100	5,5	330	159	489
8	36000	13	1100	11,5	1 166	218	1 384
							2 028
Ветвь № 1							
9	12000	10	700	10	600	69	669
10	24000	15	750	7	945	425	1 370
							2 039

Полное давление вентилятора воздухоприточной установки рассчитывается по формуле:

$$P_v = \sum \Delta P_{\text{прит}i} + \Delta P_1, \quad (1)$$

где $\Delta P_{\text{прит}i}$ – потери давления в воздухоприточной установке, Па; ΔP_1 – потери давления в первой ветви, Па.

Потребляемая мощность вентилятора определяется по формуле

$$N_v = L \cdot P_v / h_v, \quad (2)$$

где L – объём воздуха пропускаемый через вентилятор, м³/с; P_v – то же, что и в формуле (1); h_v – полный КПД вентилятора.

Потребляемая мощности всех вентиляторов:

$$\Sigma N_v = N_v + N_{в.д1} + N_{в.д2} + N_{в.д3}, \quad (3)$$

где $N_{в.д1}$, $N_{в.д2}$, $N_{в.д3}$ – потребляемая мощность вентиляторов-доводчиков, кВт; N_v – то же, что и в формуле (2).

Произведён расчет системы вентиляции при использовании одного вентилятора-доводчика. Вентилятор-доводчик № 1 был установлен в конце второго участка. Потери давления в первой части ветви 3 составляют 1393 Па.

$$P_v = 470 + 1393 = 1863 \text{ Па.}$$

Расход электроэнергии:

$$N_v = 33,33 \cdot 1863 / 0,72 \cdot 1000 = 86 \text{ кВт,}$$

Потери давления во второй части ветви 3 составляют 712 Па (равно суммарным потерям второй и третьей частей).

Расход электроэнергии:

$$N_{в.д1} = 10 \cdot 712 / 0,72 \cdot 1000 = 10 \text{ кВт.}$$

Суммарная потребляемая мощность всех вентиляторов:

$$\Sigma N_v = 86 + 10 = 96 \text{ кВт.}$$

После установки вентилятора-доводчика № 2 полное давление вентилятора-доводчика № 1 равно 270 Па. Потери давления в третьей части ветви 3 составляют 442 Па. Параметры основного вентилятора остаются прежними.

$$P_v = 470 + 1393 = 1863 \text{ Па,}$$

$$N_v = 33,33 \cdot 1833 / 0,72 \cdot 1000 = 86 \text{ кВт,}$$

$$N_{в.д1} = 10 \cdot 270 / 0,72 \cdot 1000 = 3,75 \text{ кВт,}$$

$$N_{в.д2} = 6,7 \cdot 442 / 0,72 \cdot 1000 = 2,1 \text{ кВт,}$$

$$\Sigma N_v = 86 + 3,75 + 2,1 = 91,85 \text{ кВт.}$$

Результаты расчётов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Расчёт суммарной мощности воздухоприточной системы

Наименование параметра	Значения параметра для сравниваемых вариантов системы вентиляции			
	Один центральный вентилятор	Центральный вентилятор и вентиляторы-доводчики		
		Центральный вентилятор	Вентилятор-доводчик 1	Вентилятор-доводчик 2
Полное давление вентилятора P_v , Па	2520	1863	270	442
Производительность, м ³ /ч	120 000	120 000	36 000	24 000
Потребляемая мощность, кВт	117	85	3,75	2,1
Суммарная потребляемая мощность, кВт	117	91,85		

Как видно из проведённого расчёта, установка вентиляторов-доводчиков позволяет существенно снизить нагрузку на привод центрального вентилятора, так как в этом случае подача воздуха осуществляться не на всю длину воздуховода, а только до впереди стоящего вентилятора-доводчика.

На основании проведённых расчётов установлено, что потребляемая мощность центральным вентилятором при традиционной системе вентиляции составляет 117 кВт. При установке вентиляторов-доводчиков № 1 и № 3 потребляемая мощность снижается до 86

кВт. Суммарная потребляемая мощность центрального вентилятора и вентилятора-доводчика №1 составляет 96 кВт. При установке двух вентиляторов-доводчиков №1 и №2 – суммарная потребляемая мощность основного вентилятора и двух доводчиков составит 91,85 кВт.

При конструировании приточных систем вентиляции необходимо учитывать аэродинамические особенности систем вентиляции:

- ✓ в первую очередь следует проектировать разветвлённые сети с камерами статического давления;
- ✓ использовать параллельное соединение нескольких ветвей;
- ✓ вентиляционные системы с длинными воздуховодами следует разделить на несколько частей, в начале каждой части необходимо установить вентилятор-доводчик [10].

Заключение.

Проведенные расчеты показали, что установка вентиляторов-доводчиков позволяет избежать искусственного увеличения потерь давления с целью гидравлической увязки ветвей. Использование вентиляторов-доводчиков снижает нагрузку на привод основного вентилятора, что даёт возможность использовать вентиляторы с такой же производительностью, но рассчитанные на меньшее давление, что снижает расход электрической энергии.

Суммарная экономия электроэнергии при установке одного вентилятора-доводчика составляет на 19 %, при установке двух вентиляторов-доводчиков 23 %. Полученные результаты могут быть использованы при технико-экономическом обосновании выбора энергоэффективной схемы приточной системы вентиляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Новосельцев, Б. П.** Отопление и вентиляция основных цехов машиностроительных заводов: учеб. пособие / Б. П. Новосельцев. – Воронеж: Воронеж. гос. арх.- стр. ун-т, 2010. – 233 с.
2. **Луговский, С. И.** Совершенствование систем промышленной вентиляции / С. И. Луговский, Г. К. Дымчук. – М.: Стройиздат, 1991. – 136 с.
3. **Вильданов, Р. Г.** Разработка мероприятий по энергосбережению в системах промышленной вентиляции / Р. Г. Вильданов, М. Р. Вагапов, И. Р. Фарваев // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1 (часть 1). – С. 54-61.
4. **Посохин, В. Н.** Аэродинамика вентиляции / В. Н. Посохин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2008. – 209 с.
5. **Гримитлин, М. И.** Распределение воздуха в помещениях. Изд. 3-е, доп. и исп. / М. И. Гримитлин. – СПб.: АВОК Северо-Запад, 2004. – 320 с.
6. **Старкова, Л.** Энергоэффективная вентиляция /Л. Старкова, Ю. Колякин // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2013. – № 5(137). – С. 80-85.
7. **Шонин, О. Б.** Повышение энергетической эффективности главных вентиляторных установок / О. Б. Шонин, В. С. Пронько // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2014. – № 2(195). – С. 49-57.
8. **Караджи, В. Г.** Вентиляционное оборудование. Технические рекомендации для проектировщиков и монтажников / В. Г. Караджи, Ю. Г. Московко. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2010. – 432 с.
9. **Шепс, Р. А.** Определение энергетической эффективности механической вентиляции / Р. А. Шепс, А. В. Шашин, М. Н. Жерлыкина, В. В. Шичкин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 2(9). – С. 62-68.
10. **Шилкин, Н. В.** Повышение эффективности вентиляции / Н. В. Шилкин, М. М. Бродач, Н. А. Шонина // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2020. – № 5. – С. 14-21.

Поступила в редакцию 12 мая 2021

USING FAN COIL UNITS TO REDUCE ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION FOR THE FAN DRIVE

B. P. Novoselcev, I. I. Shamilova

Novoselcev Boris Petrovich, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7 (473) 271-52-49, phone: +7 (473) 223-44-56; e-mail: belebey36@mail.ru

Shamilova Irina Igorevna, Master of the Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7 (952) 103-73-64; e-mail: irashamilova@yandex.ru

The volume of energy consumption, including electricity, in our country is constantly increasing. In this regard, it becomes necessary to reduce the cost of electrical energy as much as possible. The article discusses the possibility of reducing electrical energy in supply ventilation systems through the use of fans. We present the results of the aerodynamic calculation of two variants of the supply ventilation system of an industrial building. The first option is the traditional scheme with one common central fan. The second option is a scheme using fan coil units on separate branches of the system. As a result of the calculations, it is shown that the installation of fan coil units will significantly reduce the load on the central fan drive.

Keywords: supply ventilation system; pressure loss; fan coil unit; saving electrical energy; aerodynamic properties of ventilation systems.

REFERENCES

1. **Novoselcev B. P.** *Heating and ventilation of the main shops of machine-building plants.* Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. 2010. 233 p. (in Russian)
2. **Lugovsky S. I., Dymchuk G. K.** *Improvement of industrial ventilation systems.* Moscow, Stroyizdat. 1991. 136 p. (in Russian)
3. **Vildanov R. G., Vagapov M. R., Farvaev I. R.** *Development of measures for energy saving in industrial ventilation systems.* Modern problems of science and education. 2015. No. 1 (part 1). Pp. 54-61. (in Russian)
4. **Posokhin V. N.** *Ventilation aerodynamics.* Moscow, AVOK-PRESS, 2008. 209 p. (in Russian)
5. **Grimitlin M. I.** *Indoor air distribution.* St. Petersburg, AVOK North-West, 2004. 320 p. (in Russian)
6. **Starkova L., Kolyakin Yu.** *Energy efficient ventilation.* Plumbing, Heating, Air Conditioning. 2013. No. 5(137). Pp. 80-85. (in Russian)
7. **Shonin O. B., Pronko V. S.** *Increasing the energy efficiency of the main fan units.* Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnic University. 2014. No. 2(195). Pp. 49-57. (in Russian)
8. **Karadzhi V. G., Moskovko Yu. G.** *Ventilation equipment. Technical guidelines for planners and installers.* Moscow, AVOK-PRESS. 2010. 432 p. (in Russian)
9. **Sheps R. A., Shashin A. V., Zherlykina M. N., Shichkin V. V.** *Determination of the energy efficiency of mechanical ventilation.* Housing and communal infrastructure. 2019. No. 2(9). Pp. 62-68. (in Russian)
10. **Shilkin N. V., Brodach M. M., Shonina N. A.** *Improving the efficiency of ventilation.* AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermal physics. 2020. No. 5. Pp. 14-21. (in Russian)

*Received 12 May 2021***Для цитирования:**

Новосельцев, Б. П. Использование вентиляторов-дovодчиков для снижения расхода электрической энергии на привод вентилятора / Б. П. Новосельцев, И. И. Шамилова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 28-36. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.003.

FOR CITATION:

Novoselcev B. P., Shamilova I. I. *Using fan coil units to reduce electric energy consumption for the fan drive.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 28-36. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.003. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.004

УДК 628.511:533.6.011

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЫЛЕВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩЕЙ НАСАДКЕ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

О. В. Тирон, И. Н. Логачев, К. И. Логачев

Тирон Олег Викторович, магистрант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация, тел.: +7(4722)55-94-38; e-mail: tiron1997@gmail.com

Логачев Иван Николаевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация, тел.: +7(4722)55-94-38; e-mail: logachevin@mail.ru

Логачев Константин Иванович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация, тел.: +7(4722)55-94-38; e-mail: logachev.ki@bstu.ru

В процессе сверления стеновых конструкций электродрелями возникают значительные пылевыделения, негативно влияющие на здоровье человека и загрязняющие окружающее пространство. Актуальным является разработка компактных насадков-пылеуловителей, снижающих пылевыведения. Предложена конструкция пылеулавливающего насадка – отсоса для локализации пылевыведений при сверлении электродрелями плоских поверхностей. Для выбора необходимого расхода отсасываемого из насадка воздуха и наиболее рациональных его размеров разработана компьютерная модель движения пылевоздушного потока с учетом влияния вращения сверла. Использовался программный комплекс SolidWorks с расширением Flow Simulation, где численно решались уравнения Навье-Стокса и неразрывности, замкнутые при помощи $k - \epsilon$ модели турбулентности. Динамика пылевых частиц определялась численным решением дифференциального уравнения их движения с коэффициентом сопротивления Хендерсона. Для проверки адекватности и достоверности модели проведены экспериментальные замеры скорости воздушного потока, увлекаемого вращающимся сверлом. При помощи обработки полученных экспериментальных и расчетных значений скорости по статическим критериям оценены достоверность, адекватность модели, воспроизводимость экспериментов, теснота связи. В качестве критерия эффективности улавливания пыли насадком, используется величина максимального диаметра улавливаемых пылевых частиц. Выявлены закономерности изменения величины максимального диаметра от угловой скорости вращения сверла, изменения радиуса всасывающего отверстия и его удаленности от края насадка. В результате численного моделирования показано, что если не учитывать количество воздуха, увлекаемого вращающимся сверлом, то возможны значительные погрешности при определении максимального диаметра уловленных частиц. Разработанная компьютерная модель и выявленные закономерности улавливания пылевых частиц могут быть использованы для создания эффективного пылеулавливающего насадка.

Ключевые слова: локализация пылевыведений, сверление электродрелями, пылевые частицы, компьютерное моделирование.

Системы обеспыливающей вентиляции (аспирации) остаются наиболее эффективным способом локализации пылевыведений [1]. Местный отсос обеспечивает улавливание пыли от источника их образования [2, 3]. За счет различных конструктивных решений и использования аэродинамических эффектов добиваются улавливания пылевых частиц при минимальных расходах отсасываемого воздуха [4...7]. Сглаживание границ движущегося воздушного потока за счет профилирования твердых границ позволяет снизить затраты энергии за счет снижения потерь давления [8, 9].

Ранее в работах [10...12] была предложена конструкция пылеулавливающего насадка для дрелей-перфораторов, осуществлено численное моделирование движения частиц пыли и определена эффективность их улавливания. В качестве критерия эффективности улавливания пыли использовалась величина максимального диаметра полностью уловленных отсосом пылевых частиц – $d_{\max}$, мкм. Однако, при моделировании не учитывалось вращение сверла. Не была обоснована достоверность и адекватность разработанной в SolidWorks компьютерной модели. Целью данной работы является разработка компьютерной модели пылевоздушного потока в пылеулавливающем насадке электродрели с учетом вращения сверла; проверка модели на достоверность и адекватность при помощи сравнения с натурными замерами скорости воздушного потока, возникающего вследствие захвата боковой поверхностью сверла воздуха.

Методы, оборудование, материалы

Компьютерная модель, так же, как и в [11, 12], создавалась в программном комплексе SolidWorks. В расширении Flow Simulation, где численно решались уравнения Навье-Стокса и неразрывности, замкнутые при помощи $k - \epsilon$ модели турбулентности [13]. Динамика пылевых частиц определялась при помощи численного решения дифференциального уравнения их движения, где коэффициент сопротивления вычислялся по формуле Хендерсона [14].

Замеры окружной и радиальной составляющей скорости воздуха, осуществлялись при помощи термоанемометра Testo 425 (рис. 1). В качестве сверлильного устройства использовался перфоратор фирмы Makita HR 2810 с угловой скоростью 1100 об/мин, что равняется 115 рад/с. В ходе исследования использовались следующие диаметры сверла: 6, 8, 10, 15 мм. Измерения производились на расстоянии 10; 15; 20 мм от поверхности сверла.

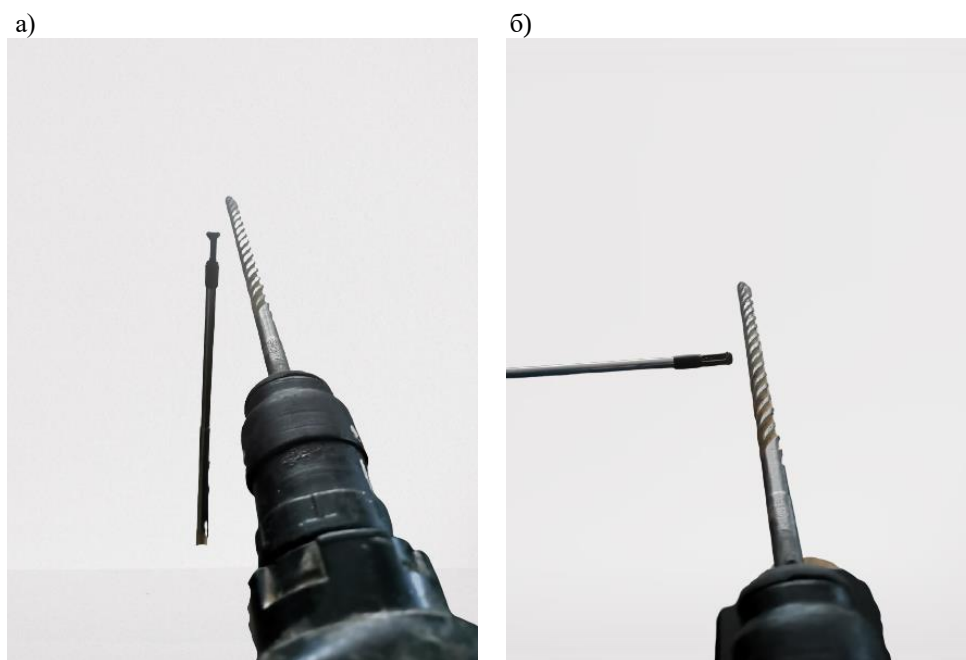


Рис. 1. Расположение зонда термоанемометра при измерении радиальной (а) и окружной (б) составляющих скорости

Для проверки достоверности результатов численного моделирования использовался критерий Стьюдента t , при помощи которого сравниваются средние значения (математические ожидания) результатов замеров x_i скорости с численным расчетом y_i , где i изменяется от 1 до количества сравниваемых значений n .

$$t = |\bar{x} - \bar{y}| \sqrt{\frac{(n-1)n}{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2]}}, \quad (1)$$

где $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$.

Полученные значения t сравниваются с табличным $t(\alpha, n-2)$. Если $t(\alpha, n-2) > t$, то с вероятностью $1 - \alpha$ средние значения для расчета и эксперимента совпадают.

Для проверки адекватности используется Критерий Фишера F , по которому сравнивается разброс результатов эксперимента и расчета относительно средних значения, т.е. сравниваются дисперсии.

Если $\sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 > \sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$, то $F = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2}$, иначе $F = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_x^2}$.

Производится сравнение полученного значения F с табличным $F(\alpha, n-1)$ ($k_1(\alpha, n-1)$ - число степеней свободы большей дисперсии, $k_2(\alpha, n-1)$ - число степеней свободы меньшей дисперсии), где α - уровень значимости. Если $F(\alpha, n-1) > F$, то с вероятностью $1 - \alpha$ разброс относительно средних значений для расчета и эксперимента совпадают.

Для проверки тесноты связи расчетных и экспериментальных значений скорости используется коэффициент линейной корреляции Пирсона:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (2)$$

Согласно шкале Чеддока, если $0 \leq r < 0,3$ - теснота связи очень слабая; $0,3 \leq r < 0,5$ - слабая; $0,5 \leq r < 0,7$ - средняя; $0,7 \leq r < 0,9$ - высокая; $0,9 \leq r \leq 1$ - очень высокая. Если r принимает отрицательные значения, то сравниваемые величины изменяются по противоположным законам.

Для оценки воспроизводимости замеров скорости использовалось расчетное значение критерия Кохрена:

$$G_p = \frac{\max s_j^2}{\sum_{j=1}^N s_j^2}, \quad (3)$$

где N - количество проведенных серий одного и того же эксперимента; $s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ji} - \bar{x}_j)^2$, $\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ji}$, n - количество замеров скорости в каждой серии опытов.

Если при соответствующем значении уровня значимости и числе степеней свободы $f = n - 1$ величина G_p меньше табличного значения критерия Кохрена G , то опыты считались воспроизводимыми.

Экспериментальные замеры скорости и сравнение с расчетом

Для проверки соответствия полученных значений, в процессе компьютерной имитации, был произведен натурный эксперимент, в котором проводились измерения радиальной и окружной составляющих скорости. Произведены две серии замеров радиальной и окружной составляющей скорости, после чего значения усреднялись (табл. 1). Эксперимент производился при тех же параметрах созданной компьютерной модели (рис. 2).

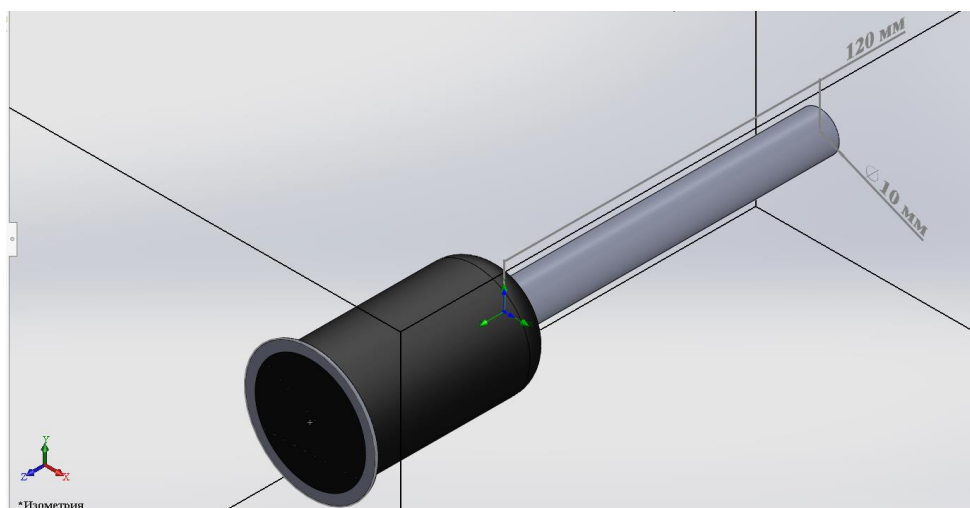


Рис. 2. Модель для исследования радиальной и окружной скорости

Для получения радиальной скорости, в ходе расчета требовалось получить скорость в направлении оси X (рис. 3), для окружной скорости – вдоль оси Y (рис. 4), полученные данные внесены в табл. 1.

Таблица 1

Значения радиальной и окружной составляющих скорости воздуха, полученные в ходе натурного и вычислительного экспериментов

Скорость вращения сверла, рад/с	Диаметр сверла, мм	Расстояние от сверла, до пробора, h, см	Окружная составляющая скорости, м/с				Радиальная составляющая скорости, м/с			
			Замер 1	Замер 2	Среднее	Расчетное значение скорости	Замер 1	Замер 2	Среднее	Расчетное значение скорости
115	6	1	0,05	0,04	0,045	0,029	0,04	0,04	0,04	0,034
	8		0,05	0,08	0,065	0,057	0,06	0,06	0,06	0,058
	10		0,07	0,06	0,065	0,061	0,1	0,08	0,09	0,06
	15		0,11	0,08	0,095	0,088	0,12	0,1	0,11	0,076
	6	1,5	0,03	0,03	0,03	0,027	0,04	0,04	0,04	0,027
	8		0,05	0,06	0,055	0,042	0,05	0,04	0,045	0,035
	10		0,06	0,06	0,06	0,046	0,09	0,06	0,075	0,038
	15		0,08	0,09	0,085	0,062	0,07	0,07	0,07	0,06
	6	2	0,03	0,03	0,03	0,019	0,04	0,03	0,035	0,023
	8		0,03	0,03	0,03	0,019	0,04	0,04	0,04	0,025
	10		0,05	0,03	0,04	0,025	0,08	0,05	0,065	0,028
	15		0,06	0,05	0,055	0,033	0,05	0,05	0,05	0,043

При сравнении полученных экспериментальных замеров 1 и 2 критерий Кохрена для окружной составляющей скорости $G_p = 0,33 < G = 0,541$, для радиальной составляющей скорости $G_p = 0,32 < G = 0,541$. Так как в обоих случаях $G > G_p$ эксперимент считается воспроизводимым. Оказывается воспроизводимым и вычислительный эксперимент относительно натурального эксперимента. Так, при сравнении средних значений экспериментально замеренной скорости и расчетных ее значений: для окружной составляющей скорости критерий Кохрена $G_p = 0,240 < G = 0,541$, для радиальной составляющей скорости $G_p = 0,244 < G = 0,541$. Для радиальной составляющей скорости при уровне значимости

$\alpha = 0,025$ критерий Стьюдента $t = 2,131 < t(0,025; 10) = 2,22814$ и критерий Фишера $F = 1,8097 < F(0,025; 11) = 3,4296$. Критерий линейной корреляции Пирсона $r = 0,835 \pm 0,088$. Таким образом, расчетные величины радиальной составляющей скорости достоверны и адекватны с вероятностью 0,975. Степень связи расчета и эксперимента высокие. Для окружной составляющей скорости при уровне значимости $\alpha = 0,025$ критерий Стьюдента $t = 1,417 < t(0,025; 10) = 2,22814$ и критерий Фишера $F = 1,003 < F(0,025; 11) = 3,4296$. Критерий линейной корреляции Пирсона $r = 0,956 \pm 0,025$. Таким образом, расчетные величины окружной составляющей скорости достоверны и адекватны с вероятностью 0,975. Степень связи расчета и эксперимента очень высокие.

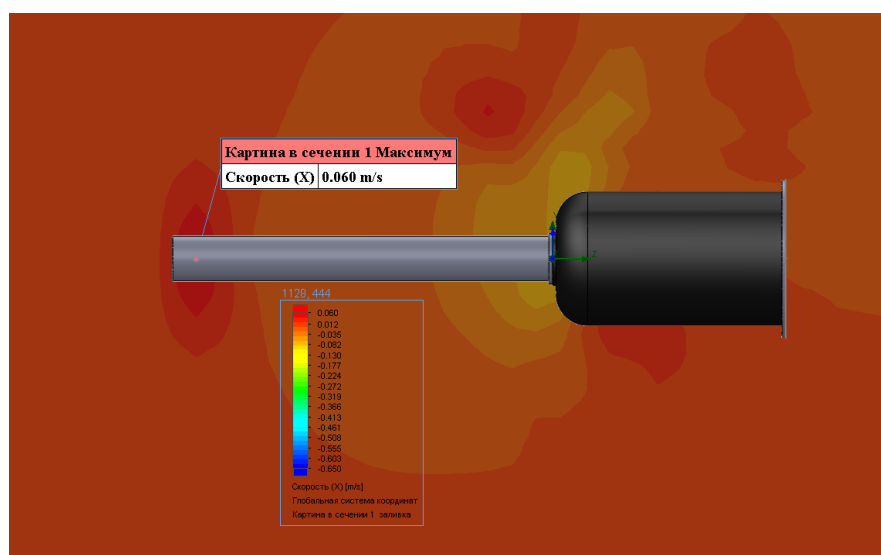


Рис. 3. Радиальная составляющая скорости при $d_{\text{св}}=10$ мм, $h=10$ мм

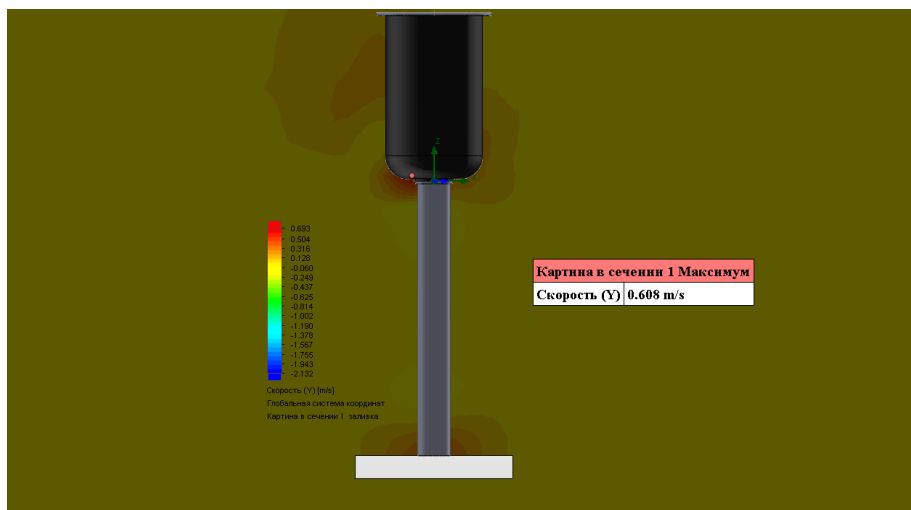


Рис. 4. Окружная скорость при диаметре сверла $d_{\text{св}}=10$ мм, $h=10$ мм

Результаты вычислительных экспериментов

Произведены расчёты изменения d_{max} в зависимости от угловой скорости развиваемой вращающимся сверлом на холостом ходу (рис. 5); при различных диаметрах насадка, для возможности использования оборудования с коронками подрозетника до 72 мм; а также при расположении канала сбоку.

Сверление пола, как показано в [12], является самым неблагоприятным для улавливания пыли вариантом. Поэтому для выбора необходимого расхода для локализации пылевых делений логично рассматривать именно этот случай.

При увеличении скорости вращения сверла $d_{\max}$ снижается (рис. 6), что свидетельствует о снижении эффективности улавливания пылевых частиц отсосом. Данное обстоятельство связано с образующимся вокруг сверла циркуляционным течением, способствующим выносу пылевых частиц из области их улавливания вытяжным каналом. Наибольшая скорость вращения сверла на холостом ходу в перфораторе не превышает 146 рад/с. Более высокие скорости вращения могут наблюдаться только при работе сверлильных станков. В случае не учёта воздействия вращающегося сверла, величина $d_{\max}$ составляет 480 мкм [12], что приводит к погрешностям определения $d_{\max}$ на величину $(480 - 230)/480 \cdot 100 \% = 52 \%$.

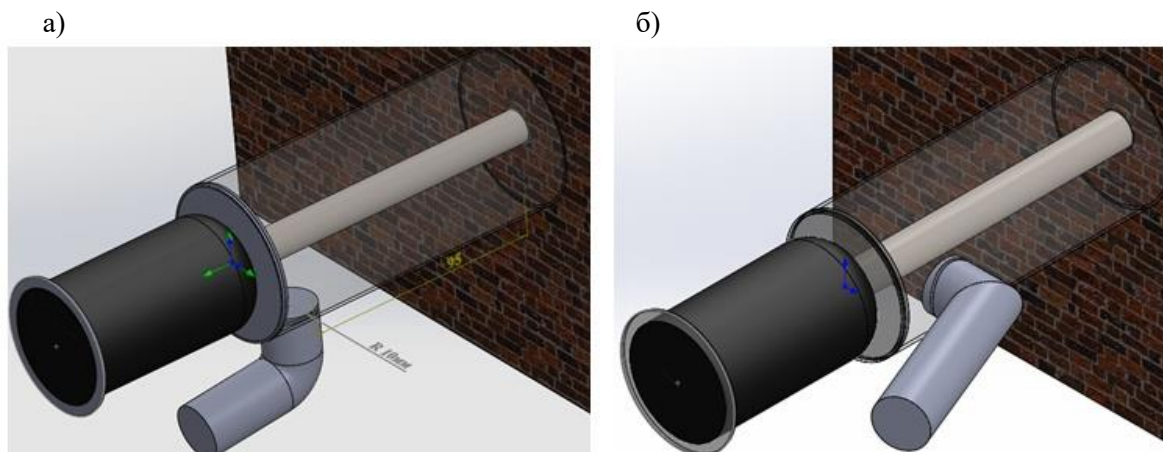


Рис. 5. Компьютерная модель для расчета $d_{\max}$ при сверлении вертикальной стены при расположении всасывающего патрубка сбоку (а) и снизу (б)



Рис. 6. Зависимость $d_{\max}$ от угловой скорости сверла при $Q = 0,01$ кг/с, $h = 95$ мм, $r = 10$ мм

В последующих расчетах угловая скорость вращения сверла составляет 146 рад/с, диаметр сверла в модели 10 мм. Следующий расчет направлен на установление возможности применения разработанного насадка, при использовании наиболее распространенного подрозетника диаметром 68 мм (рис. 7).

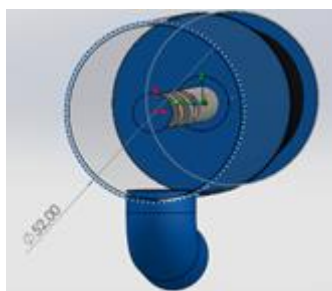


Рис. 7. Конструкция насадка с изменяемым диаметром

При фиксированных значениях расхода отсасываемого воздуха $Q = 0,01$ кг/с и радиуса вытяжного канала $r = 10$ мм величина $d_{\max}$ достигает максимального значения при диаметре насадка 40 мм. Потому применение увеличенных диаметров насадка, предназначенных для использования коронок подрозетников требуют увеличение расхода воздуха, необходимого для улавливания пылевых частиц (рис. 8...9).

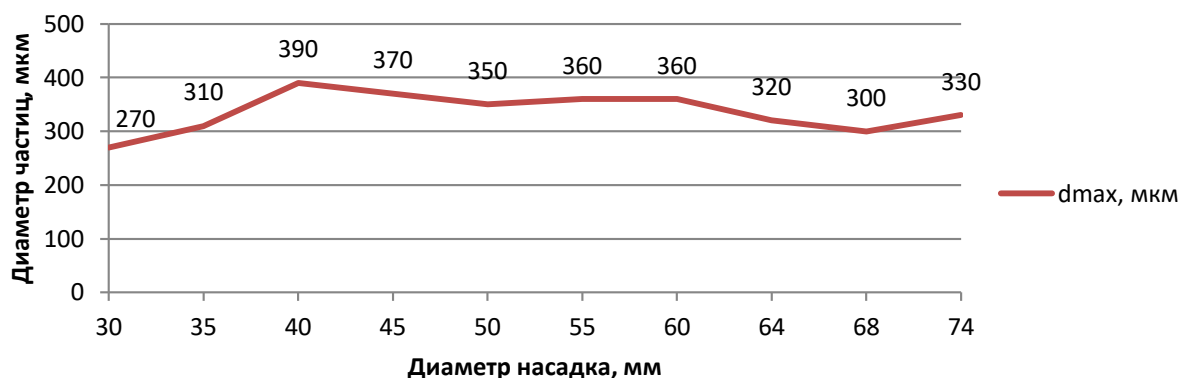


Рис. 8 Зависимость $d_{\max}$ от диаметра насадка, при $Q = 0,01$, $r = 10$ мм, $h = 95$ мм

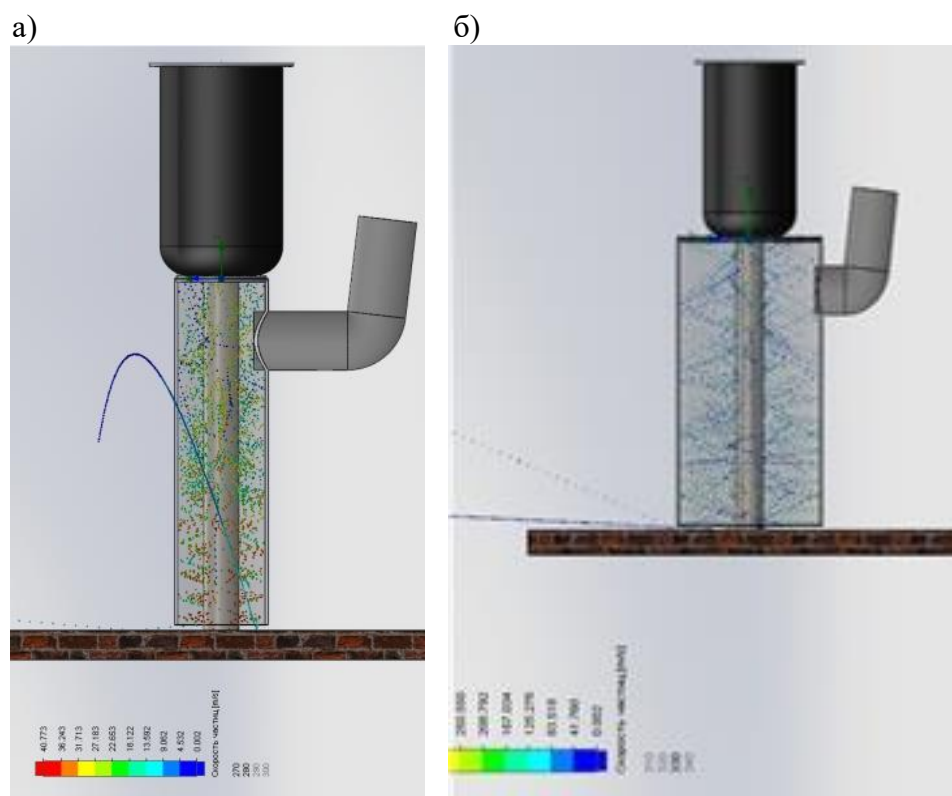


Рис. 9. Результаты определения $d_{\max}$ при диаметре насадка: а) $d = 30$ мм; б) $d = 64$ мм

Смещение всасывающего патрубка по поверхности не существенно, но влияет на величину $d_{\max}$ при сверлении вертикальной стенки. При расположении всасывающего патрубка сбоку при $r = 10$ мм, $h = 95$ мм (рис. 5б) величина $d_{\max} = 330$ мкм достигается при расходе 0,01 кг/с (табл. 2). При расположении патрубка снизу (рис. 5а) и при тех же значениях Q и r величина $d_{\max}$ увеличивается на 6 % до 350 мкм. При сверлении потолка или пола, очевидно, расположение всасывающего патрубка не влияет на $d_{\max}$.

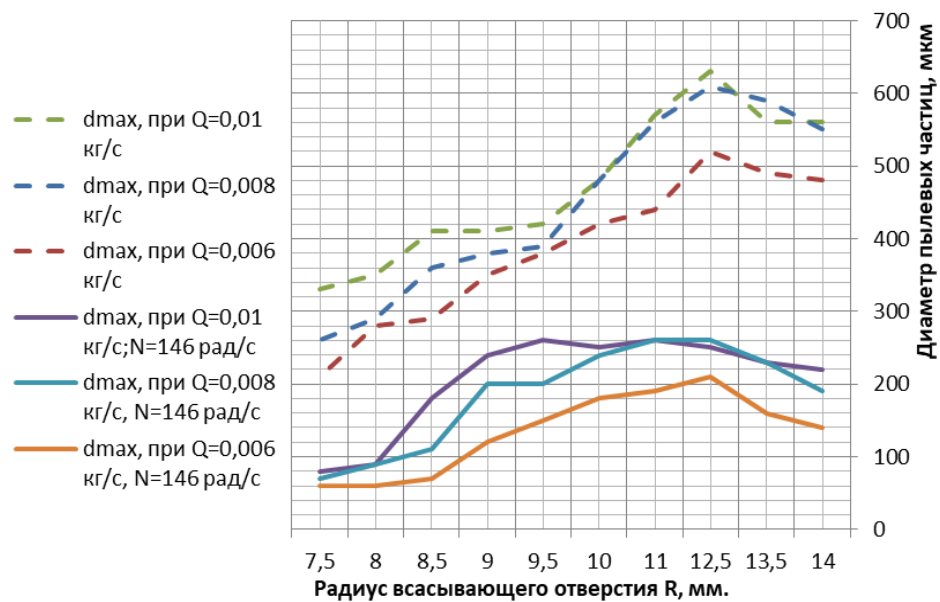
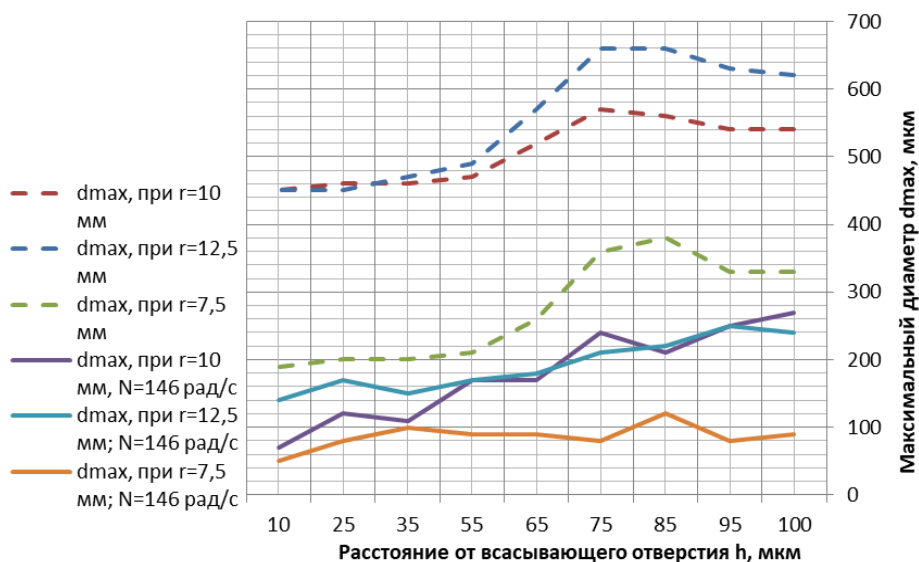
Представленные расчёты, отражающие изменения $d_{\max}$, при изменении радиуса всасывающего отверстия r (рис. 10) и изменения его удаленности от края насадка h (рис. 11) показывает, что не учёт воздушного потока, возникающего вследствие вращения сверла,

приводит к значительным погрешностям. Значения максимального диаметра $d_{\max}$ могут расходиться более чем в два раза. Наиболее эффективное улавливание пылевых частиц осуществляется при радиусе всасывающего канала от 9,5 мм до 12,5 мм. Расстояние всасывающего канала необходимо удалять от плоской поверхности на расстояние не менее 85 мм.

Таблица 2

Изменение $d_{\max}$ при разных расходах отсасываемого воздуха

Направление сверления	Расстояние от отверстия до отсоса, h , мм	Радиус всасывающего отверстия, r , мм	Расположение всасывающего отверстия	Массовый расход воздуха, Q , кг/с	Максимальный диаметр пылевых частиц, $d_{\max}$, мкм
Горизонтальное (стена)	95	10	Сбоку	0,012	300
				0,01	330
				0,008	270

Рис. 10. Результаты расчета $d_{\max}$, мкм при изменении r , мм с переменными значениями Q , кг/с и постоянным $N = 146$ рад/сРис. 11. Расчет $d_{\max}$, мкм при изменении h , мм с переменными значениями r , мм и постоянным $N = 146$, рад/с

Заключение.

Для локализации пылевыведений при сверлении плоских поверхностей электродрелями предложена конструкция пылеулавливающего насадка. В программном комплексе SolidWorks, создана компьютерная модель пылевоздушного течения в насадке-отсосе, с учетом воздушного потока, увлекаемого вращающимся сверлом. Проведены замеры скорости вблизи вращающихся сверел разных диаметров, при помощи термоанемометра Testo 425.

Сравнение расчетных и экспериментальных значений составляющих скорости при помощи критериев Стьюдента, Фишера, Пирсона и Кохрена доказывает достоверность и адекватность компьютерной модели, высокую тесноту связи полученных значений и воспроизводимость как натуральных опытов, так и вычислительных экспериментов относительно них.

Вычислительные эксперименты показали, что при увеличении скорости вращения сверла максимальный диаметр улавливаемых частиц снижается. Пренебрежение учета воздушного потока, образующегося вращающимся сверлом, в компьютерной модели, приводит к значительным погрешностям.

Наибольшее улавливание пылевых частиц достигается при диаметре насадка 40 мм, скорости вращения сверла 146 рад/с. Необходимый для улавливания пылевых частиц расход отсасываемого воздуха составляет 0,01 кг/с. Радиус всасывающего отверстия должен лежать в диапазоне 9,5...12,5 мм. Расстояние всасывающего патрубка от края насадка должна составлять не менее 85 мм. Смещение всасывающего отверстия по боковой поверхности не оказывает существенного влияния на улавливание пыли, но при сверлении вертикальной стены предпочтительнее его размещать снизу.

Источник финансирования: грант РНФ (проект 18-79-10025)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Nazaroff, W.W.** Four principles for achieving good indoor air quality / W. W. Nazaroff // Indoor. Air. – 2013. – Vol. 23. – Pp. 353-356.
2. **Huang, Y.** Study on ventilation performance of lateral exhaust hood under the influence of two high-temperature buoyant jets / Y. Huang., K. Lu., J. Guo., Y. Wang, C. Zhao, Y. Zhai // Building and Environment. – 2020. – Vol. 177. – Pp. 106849.
3. **Wang, Y.** Lateral ventilation performance for removal of pulsating buoyant jet under the influence of high-temperature plume / Y. Wang, L. Cao, Y. Huang, Y. Cao // Indoor and Built Environment. – 2020. – Vol. 29 – No. 4. – Pp.248-255.
4. **Logachev, I. N.** Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions / I. N. Logachev, K. I. Logachev, O. A. Averkova // CRC Press. – 2015. – 564p.
5. **Chern, M. J.** Numerical investigation push-pull and exhaust of turbulent diffusion in fume cupboards / M. J. Chern, W. Y. Cheng // Ann. Occup. – 2007. – Vol. 51. – No. 6. – Pp. 517-531.
6. **Zhao, R.** Comprehensive performance evaluation of a novel Aaberg exhaust system reinforced by a swirling jet / R. Zhao, H. Qian, L. Liu, X. Zheng // Building and Environment. – 2020. – Vol. 167. – Pp. 106451.
7. **Yan, Y.** Characterization and analysis of indoor tornado for contaminant removal and emergency ventilation / Y. Yan, X. Li, J. Tu, P. Feng, J. Zhang // Building and Environment. – 2019. – Vol. 164. – Pp. 107106.
8. **Зиганшин, А. М.** Численное определение характеристик течения через последнее боковое отверстие в воздуховоде / А. М. Зиганшин, К. Э. Батрова, Г. А. Гимадиева // Известия ВУЗов. Строительство. – 2018. – № 7. – С. 53-65.

9. **Зиганшин, А. М.** Повышение энергоэффективности вентиляционного фасонного элемента в виде внезапного расширения / А. М. Зиганшин, Т. А. Наумов // Известия ВУЗов. Строительство. – 2019. – № 6. – С. 53-65.
10. **Тирон, О. В.** Способы и средства локализации пылевыведений от сверлильного оборудования / О. В. Тирон // Молодёжь и научно-технический прогресс: сборник докладов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Губкин, 2020. – С. 317-321.
11. **Тирон, О. В.** Определение рациональной мощности всасывания пылеудаляющей насадки для ударного инструмента / О. В. Тирон // Международная научно-техническая конференция молодых ученых. Изд-во: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – 2020. – С.4052-4057.
12. **Тирон, О. В.** Численное моделирование пылевоздушных течений вблизи местного вентиляционного отсоса от сверлильного оборудования / О. В. Тирон, К. И. Логачев // Вестник Белгородского Государственного Технологического Университета им. В. Г. Шухова. – 2021. – № 3. – С. 36-46.
13. **Алямовский, А. А.** Solid Works 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский // СПб.: БХВ-Петербург. – 2008. – 1042 с.
14. **Henderson, C. B.** Drag Coefficients of Spheres in Continuum and Rarefied Flows / C. B. Henderson // AIAA Journal. – 1976. – Vol. 14. – No. 6. – Pp. 103-112.

Поступила в редакцию 2 апреля 2021

NUMERICAL SIMULATION OF AIR DUST FLOW IN A DUST COLLECTING NOZZLE WHEN DRILLING FLAT SURFACES

O. V. Tiron, I. N. Logachev, K. I. Logachev

Tiron Oleg Viktorovich, undergraduate student of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia, phone: +7 (4722)55-94-38; e-mail: tiron1997@gmail.com

Logachev Ivan Nikolaevich, Dr. Sc. (Tech.), Professor, Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia, phone: +7 (4722)55-94-38; e-mail: logachevin@mail.ru

Logachev Konstantin Ivanovich, Dr. Sc. (Tech.), Professor, Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia, phone: +7 (4722)55-94-38; e-mail: logachev.ki@bstu.ru

In the process of drilling wall structures with electric drills, significant dust emissions occur, which negatively affect human health and pollute the surrounding space. Development of compact nozzles-dust collectors that reduce dust emission is urgent. We offer a new design of a dust-collecting nozzle - suction for the localization of dust when drilling flat surfaces with electric drills. To select the required flow rate of air sucked out of the nozzle and its most rational dimensions, a computer model of the movement of the dust-air flow has been developed, taking into account the influence of the rotation of the drill. We used the software package *SolidWorks*, in the *Flow Simulation* extension where the Navier-Stokes and continuity equations were numerically solved using the $k - \varepsilon$ turbulence model. The dynamics of dust particles was determined by numerically solving the differential equation of their motion with the Henderson drag coefficient. We carried out a number of experimental measurements of the speed of the air flow activated by the rotating drill to check the adequacy and reliability of the model. By processing the obtained experimental and calculated values of the velocity according to static criteria we assessed the reliability, adequacy of the model, reproducibility of experiments and tightness of the connection. As a criterion for the efficiency of dust collection by the nozzle, the value of the maximum diameter of the captured dust particles is used. As well we revealed some regularities of the change in the value of the maximum diameter from

the angular speed of rotation of the drill, the change in the radius of the suction hole and its distance from the edge of the nozzle. As a result of numerical simulation, it is shown that not taking into account the air flow created by the rotating drill leads to significant errors, reaching 68%. The developed computer model and the revealed patterns of trapping dust particles can be used to create an effective dust-collecting nozzle.

Keywords: localization of dust emissions; drilling with electric drills; dust particles; computer simulation.

REFERENCES

1. **Nazaroff W. W.** *Four principles for achieving good indoor air quality*. Indoor. Air. 2013. Vol. 23. Pp. 353-356.
2. **Huang Y., Lu K., Guo J., Wang Y., Zhao C., Zhai Y.** *Study on ventilation performance of lateral exhaust hood under the influence of two high-temperature buoyant jets*. Building and Environment. 2020. Vol. 177. Pp. 106849.
3. **Wang Y., Cao L., Huang Y., Cao Y.** *Lateral ventilation performance for removal of pulsating buoyant jet under the influence of high-temperature plume*. Indoor and Built Environment. 2020. Vol. 29. No. 4. Pp. 248-255.
4. **Logachev I. N., Logachev K. I., Averkova O. A.** *Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions* // CRC Press. 2015. Pp. 564 p.
5. **Chern M. J., Cheng W. Y.** *Numerical investigation push-pull and exhaust of turbulent diffusion in fume cupboards*. Ann. Occup. 2007. Vol. 51. No. 6. Pp. 517-531.
6. **Zhao R., Qian H., Liu L., Zheng X.** *Comprehensive performance evaluation of a novel Aaberg exhaust system reinforced by a swirling jet* // Building and Environment. 2020. Vol. 167. Pp. 106451.
7. **Yan Y., Li X., Tu J., Feng P., Zhang J.** *Characterisation and analysis of indoor tornado for contaminant removal and emergency ventilation*. Building and Environment. 2019. Vol. 164. Pp. 107106.
8. **Ziganshin A. M., Batrova K. E., Gimadieva G. A.** *Numerical determination of flow characteristics through the last side hole in the air duct*. IzvestiyaVUZov. Building. 2018. No. 7. Pp. 53-65 (in Russian)
9. **Ziganshin A. M., Naumov T. A.** *Improving the energy efficiency of a ventilation shaped element in the form of a sudden expansion*. IzvestiyaVUZov. Building. 2019. No. 6. Pp. 53-65. (in Russian)
10. **Tiron O. V.** *Methods and means of localization of dust emissions from drilling equipment*. Gubkin, Youth and scientific and technical progress: collection of reports of the XIII International scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists. 2020. Pp. 317-321. (in Russian)
11. **Tiron O. V.** *Determination of the rational suction power of a dust-removing nozzle for a percussion instrument*. Belgorod, International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 2020. Pp. 4052-4057. (in Russian)
12. **Tiron O. V., Logachev K. I.** *Numerical modeling of dusty air flows near the local ventilation suction from the drilling equipment*. Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 2021. № 3. Pp. 36-46. (in Russian)
13. **Alyamovsky A. A.** *SolidWorks 2007/2008. Computer modeling in engineering practice*. St. Petersburg, BHV-Petersburg. 2008. Pp. 1042. (in Russian)
14. **Henderson C. B.** *Drag Coefficients of Spheres in Continuum and Rarefied Flows*. AI-AAJournal. 1976. Vol. 14. No. 6. Pp. 103-112.

Received 2 April 2021

Для цитирования:

Тирон, О. В. Численное моделирование пылевоздушного потока в пылеулавливающей насадке при сверлении плоских поверхностей / О. В. Тирон, И. Н. Логачев, К. И. Логачев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 37-48. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.004.

FOR CITATION:

Tiron O. V., Logachev I. N., Logachev K. I. *Numerical simulation of air dust flow in a dust collecting nozzle when drilling flat surfaces.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 37-48. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.004. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.005

УДК 621.643:629.039.58

АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОВЫХ КОТЕЛЬНЫХ

Н. В. Колосова, Л. А. Котова, А. А. Высоцкая

Колосова Нелля Викторовна, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: kolosnv@yandex.ru

Котова Лариса Александровна, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: kottkottova@ya.ru

Высоцкая Александра Александровна, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: vysotskaya-1998@mail.ru

Целью исследований является анализ возможных аварийных ситуаций при разгерметизации газопровода, прилегающего к котельной и находящегося в ней, а также определение горизонтального радиуса действия ключевых поражающих факторов при аварии. В качестве примера произведен расчет аварийной ситуации для участка газопровода среднего давления. Определены значения максимального избыточного давления, импульса фазы сжатия воздушных волн давления и радиусов зон поражения при взрыве топливозвоздушной смеси. Даны рекомендации для профилактики возникновения аварийной ситуации.

Ключевые слова: газопровод; авария; факельное горение; радиус зон поражения; избыточное давление.

Стратегию принятия решений по предупреждению аварийных ситуаций техногенного и природного характера необходимо разрабатывать с учетом потенциальной опасности объекта строительства и близлежащих зданий и сооружений, учитывая естественные условия окружающей среды. В качестве примера, предлагаем рассмотреть отдельно стоящее здание газовой котельной. На данном объекте серьезной опасностью являются газопровод среднего давления и внутреннее газооборудование котельной. Природный газ, находящийся в системе газораспределения, является взрывоопасным веществом, т.е. представляет угрозу для работоспособности объекта газоснабжения и окружающей его местности.

При аварии необходимо определять сферу влияния существенных вредоносных источников, возникновение которых возможно при разгерметизации трубопроводов. Также существует большое количество причин повреждения трубопроводов, таких как процессы коррозии (из-за токов, протекающих в земле, неисправности в системе антикоррозионной защиты и т.д.), механические повреждения (движение транспорта, строительные работы, диверсионно-террористические акты, военные действия), отказы системы (брак соединений, запорной арматуры, сварки металла, отказ систем автоматики, отсутствие подачи воды), разрушительные природные явления и некорректная работа персонала, обслуживающего объект, нарушение техники безопасности [1].

Рассмотрим возможные причины аварийных ситуаций. При развитии аварий на газораспределительных трубопроводах основным прогнозом является газовая утечка из-за потери герметичности при повреждении трубопровода. От скорости определения месторасположения аварии, срабатывания защитной арматуры или времени на перекрытие задвижек ручным способом зависит время утечки газообразного топлива.

В большинстве случаев, такого рода повреждения создают местную загазованность вблизи зоны нарушения герметичности, однако самостоятельное зажигание струи газа не

Исследования причин аварийных ситуаций на газораспределительном трубопроводе указывают на то, что газовая утечка происходит при 68 % случаев, а такая ситуация, как взрыв газообразного топлива – при 12 % случаях [3]. В тот момент, когда трубопровод теряет герметичность, природный газ истекает в атмосферу и впоследствии рассеивается. Участок, в котором произошло аварийное истечение, может являться как надземным, так и подземным участком трубопровода.

Оценка опасной ситуации для объекта газоснабжения производится на основании Федерального закона №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (прил. 2 п. 4).

A1 – радиус зоны поражения при максимальном давлении фронта ударной волны ($\Delta P = 4,9$ кПа), $R = 9,7$ м; A2 – радиус зоны поражения при малых повреждениях с частичным разрушением оконных проемов ($\Delta P = 2$ кПа), $R = 25,5$ м; A3 – радиус области, ограниченной нижним концентрационным пределом распространения пламени (НКПР) природного газа ($R_{\text{НКПР}} = 31$ м)

Для определения горизонтального расстояния зоны поражения при аварии необходимо за начало отсчета принять внешние размеры трубопровода. Принимается условие горизонтального горения факела, так как это представляет одну из значимых опасностей. Вероятность реализации условно равна 0,67 [4].

При аварийной разгерметизации проектируемого наружного газопровода возгорание возможно в области, ограниченной нижним концентрационным пределом распространения пламени (НКПР) природного газа. Определение горизонтальных расстояний зоны $R_{\text{НКПР}}$, наличие источника зажигания, который может привести к воспламенению природного газа, производится согласно приказа МЧС РФ от 10.07.2009 N 404 (ред. от 14.12.2010). Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (Зарегистрировано в Минюсте России 17.08.2009 N 14541).

Максимальный горизонтальный размер зоны действия поражающих факторов может быть определен по выражению:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33}, \quad (1)$$

где m_{Γ} – масса газа, поступившего в открытое пространство при аварийной ситуации, кг; ρ_{Γ} – плотность газа при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м³; $C_{\text{НКПР}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени природного газа, %.

Масса смеси газов, содержащегося в облаке топливно-воздушной смеси (далее ТВС), принята в качестве исходного параметра или определяться исходя из условий развития аварий. Если исходные данные отсутствуют, массу смеси газов рекомендуется определять согласно ПБ 09-540-03 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденные Постановлением Госгортехнадзора России от 05.05.03 № 29 (прил. 1).

Необходимо определить значения волны давления при сгорании ТВС, при этом принимаются условия максимально возможной аварии – полный разрыв сечения наружного газопровода диаметром $57 \times 4,0$ мм и давлением 0,6 МПа.

Вещества, которые образуют горючие смеси с воздухом, классифицируются по величине собственной чувствительности к возбуждению взрывных процессов. Согласно классификационной таблицы, которая приведена в методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, природный газ (метан) по степени взрывоопасности относится к 4 классу. Для определения интенсивности сгорания облака выделяют шесть основных режимов, которые зависят от скорости распространения фронта пламени, значение которого может быть определено по выражению:

$$U = k_i \cdot m_{\Gamma}^{\frac{1}{6}}, \quad (2)$$

где k_i – константа, равная 43. По величине скорости распространения фронта пламени принят 5 класс (дефлаграция).

Для обеспечения безопасности при возможном возникновении аварии необходимо определить значения воздушных волн давления в зависимости от расстояния от центра облака, которые рассчитываются исходя из ожидаемого режима сгорания облака.

Соответствующее безразмерное расстояние от центра облака ТВС определяют по выражению:

$$R_x = \frac{R}{\left(\frac{E}{P_o} \right)^{\frac{1}{3}}}, \quad (3)$$

где R – расстояние от центра облака, м; P_o – атмосферное давление, Па; E – эффективный энергоснабжения смеси, Дж, который определяют по выражениям:

$$E = m_{\Gamma} \cdot q_{\Gamma} \text{ при } C_{\Gamma} \leq C_{\text{ст}} \quad (4)$$

или

$$E = m_{\Gamma} \cdot q_{\Gamma} \cdot \frac{C_{\text{ст}}}{C_{\Gamma}} \text{ при } C_{\Gamma} > C_{\text{ст}}, \quad (5)$$

где q_{Γ} – средняя теплота сгорания смеси газов, Дж/кг; C_{Γ} – удельная концентрация горючего вещества в облаке ТВС, кг/м³. В случае если определение концентрации горючего вещества в смеси затруднено, в качестве величины C_{Γ} рекомендуется принять концентрацию, соответствующую нижнему концентрационному пределу воспламенения горючего газа. $C_{\text{ст}}$ – стехиометрическая концентрация вещества в смеси с воздухом, кг/м³, значение которой определено из справочных данных.

Необходимые значения безразмерного давления P_{x1} и импульса фазы сжатия I_{x1} определяют по выражениям:

$$P_{x1} = \left(\frac{U^2}{C_0^2} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2} \right), \quad (6)$$

где C_0 – скорость звука в воздухе, которая обычно принимается равной 340 м/с; σ – степень расширения продуктов сгорания, которая для газовой смеси равна 7.

$$I_{x1} = \left(\frac{U}{C_0} \right) \cdot \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \cdot \left(1 - 0,4 \cdot \frac{(\sigma - 1) \cdot U}{\sigma \cdot C_0} \right) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3} \right). \quad (7)$$

Выражения (6) и (7) справедливы для значений R_x , больших величины $R_{k1} = 0,34$, в противном случае вместо R_x в вышеуказанных формулах принимается величина R_{k1} .

Размерные величины избыточного давления и импульса фазы сжатия в волне давления могут быть определены по выражениям:

$$\Delta P = P_{x1} \cdot P_0. \quad (8)$$

$$I^* = \frac{I_{x1} \cdot P_0^{\frac{2}{3}} \cdot E^{\frac{1}{3}}}{C_0}. \quad (9)$$

Для оценки последствий взрывов ТВС необходимо определить радиус зон поражения, который может быть определен по выражению согласно [5]:

$$R = \frac{K \cdot W^{\frac{1}{3}}}{\left(1 + \left(\frac{3180}{W} \right)^2 \right)^{\frac{1}{6}}}, \quad (10)$$

где K – коэффициент, который зависит от уровня разрушений конструкций; W – тротиловый эквивалент взрыва, кг, значение которого может быть определено из выражения:

$$W = \frac{0,4 \cdot m_{\Gamma} \cdot q_{\Gamma}}{4,05 \cdot 10^6}. \quad (11)$$

Значения максимального избыточного давления, импульса фазы сжатия воздушных волн давления и радиусов зон поражения при взрыве ТВС на газопроводе среднего давления представлены в таблице.

При истечении сжатых горючих газов из отверстия под давлением существует вероятность возникновения диффузного факела [6...7]. Длину факела L_F при горении можно определить по выражению:

$$L_F = K \cdot G^{0,4}, \quad (12)$$

где K – эмпирический коэффициент, который равен 13,5 при истечении горючих газов; G – расход вещества, кг/с.

Параметры воздушных волн давления при взрыве облака ТВС

Наименование параметра	Значения параметра
Радиус зоны поражения при максимальном давлении фронта ударной волны ($\Delta P=4,9$ кПа)	9,7 м
Импульс фазы сжатия в воздушной ударной волне ($\Delta P=4,9$ кПа)	288 Па·с
Радиус зоны поражения при малых повреждениях с частичным разрушением оконных проемов ($\Delta P=2$ кПа)	25,5 м
Импульс фазы сжатия в воздушной ударной волне ($\Delta P=2$ кПа)	110 Па·с

Ширина факела может быть определена из выражения:

$$D_F = 0,15 \cdot L_F. \quad (13)$$

Зона контакта пламени определяется размерами факела. На рассматриваемом объекте эти величины составляют $L_F = 16,4$ м и $D_F = 2,5$ м. Для оценки пожарной опасности горящего факела на газопроводе допускается принимать, что внешняя граница области теплового воздействия с интенсивностью 10 кВт/м² располагается на величину от L_F до $1,5 \cdot L_F$ от места возникновения факела. В результате данных допущений следует, что границы потенциально опасного теплового воздействия с интенсивностью 10 кВт/м² проходят параллельно оси газопровода с каждой его стороны.

В ходе анализа реальных аварийных ситуаций выявлено, что на практике невозможно возникновение взрыва газозвушной смеси в атмосферных условиях, и наиболее вероятно термическое поражение людей, находящихся на трассе непосредственно в месте выхода газа.

Авария при эксплуатации котельной может возникнуть в результате появления в помещении опасной концентрации природного газа из-за нарушения правил безопасности при работе с котлами, при неисправности в системах автоматического регулирования и блокировок, вентиляции, газоудаления и электропитания [8...9].

Рассмотрим сценарий максимальной гипотетической аварии при разрыве трубы газопровода диаметром 57×4 мм и давлением $0,6$ МПа внутри котельной. Внутренние габариты помещения составляют $12,0$ м $\times$ $9,0$ м.

Необходимо определить избыточное давления при сгорании ТВС по выражению:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m_T \cdot Z}{V_{\text{св}} \cdot \rho_T} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_H}, \quad (13)$$

где $P_{\max}$ – величина максимального давления, развиваемого при сгорании стехиометрической газозвушной смеси в замкнутом пространстве, кПа; P_0 – величина начального давления, кПа; Z – коэффициент участия горючего при сгорании газозвушной смеси; $V_{\text{св}}$ – свободный объем помещения, м³; $C_{\text{ст}}$ – свободная концентрация газа, %(об); K_H – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения.

При сгорании газозвушной смеси в помещении котельной возникает избыточное давление в размере 192 кПа, которое может привести к полному разрушению котельной (категория повреждения А).

Для профилактики возникновения аварийной ситуации в помещении котельной должна быть предусмотрена установка сигнализации. Чтобы уменьшить разрушительные

последствия аварии, при проектировании котельной мы предлагаем установку легкосбрасываемых конструкций площадью из расчета $0,03 \text{ м}^2$ на 1 м^3 объема помещения, которая обеспечивается одинарным остеклением оконных блоков [10]. При ликвидации аварийных ситуаций на системах газоснабжения также необходима слаженная работа аварийно-восстановительных служб. Рациональная стратегия действий диспетчерского персонала позволяет распределять имеющиеся материально-технические ресурсы с учетом изменений ситуации во времени [9, 11]. Для уменьшения последствий аварийных ситуаций на газопроводе и на объектах газоснабжения в целом, необходимо предусматривать комплекс мероприятий, которые позволят увеличить безопасность сотрудников, а также не повлияет на работоспособность объекта газоснабжения в дальнейший период эксплуатации.

Заключение.

Для подтверждения нераспространения пожара на территории котельной рассмотрены расчетные сценарии проектного пожара и оценено его тепловое воздействие на окружающую среду.

Определено противопожарное расстояние для рассматриваемого объекта газоснабжения, безопасность сокращения до которого необходимо обосновать расчетным путем. В целях повышения работоспособности объекта газоснабжения были проведены расчеты по определению безопасного места строительства с допустимыми приближениями к существующим подземным и надземным сооружениям.

При внедрении результатов расчета полученные значения расстояний необходимо проверять на предмет соответствия требованиям по противопожарным расстояниям между рассматриваемым объектом и соседними существующими зданиями, сооружениями. Выполнение соответствующих расчетов в рабочих проектах позволит в большинстве случаев снизить ущерб, наносимый аварией имуществу, жизни и здоровью населения, окружающей среде, а также значительно уменьшит время на ликвидацию и локализацию последствий аварийной ситуации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Солопова, В. А.** Качественный анализ причин аварии на газовых котельных / В. А. Солопова, А. И. Грошева // MODERN SCIENCE, Научно-информационный издательский центр «Институт стратегических исследований». – 2020. – № 10-1. – С. 464-468.
2. **Шмурыгина, А. В.** Аварии на газопроводе в котельных: причины и мероприятия по их предотвращению / А. В. Шмурыгина, Н. Ф. Свинцова // Актуальные вопросы в науке и практике: сборник статей по материалам XII международной научно-практической конференции, ООО «Дендра», Уфа. – Том. Часть 1(4). – 2018. – С. 139-144.
3. **Красных, Б. А.** Анализ аварий и несчастных случаев на объектах газового надзора / Б. А. Красных, В. Ф. Мартынюк, Т. С. Сергиенко, А. А. Сорокин, А. А. Феоктистов, А. С. Нечаев. – М.: ООО «Анализ опасностей» и др. В надзаг. также: Госгортехнадзор России, Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. – 320 с.
4. **Щелчкова, А. И.** Графический анализ пожаровзрывобезопасности промышленного предприятия, эксплуатирующего котельные установки / А. И. Щелчкова, Л. Ф. Хасанова, А. Р. Галеева, О. Г. Мартынова, Р. И. Ахметшин, С. Т. Рахманова, К. Ш. Ямалетдинова, З. А. Янгуразова // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – Уфа. – 2020. – № 3. – С. 92-108.
5. **Бесчастнов, М. В.** Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / М. В. Бесчастнов. – М.: Химия, 1991. – 432 с.
6. **Пузач, С. В.** Модифицированная зонная модель расчета термогазодинамики пожара в помещении, учитывающая форму конвективной колонки / С. В. Пузач, С. А. Колоджный, Н. В. Колосова // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – № 12. – С. 33-39.

7. Пузач, С. В. К определению формы конвективной колонки над очагом пожара в помещении / С. В. Пузач, С. А. Колодяжный, Н. В. Колосова // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 6(64). – С. 77-84.

8. Сотникова, О. А. Рациональное послеаварийное восстановление систем теплоснабжения / О. А. Сотникова, Н. В. Колосова, Д. Н. Шабанов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 2(3). – С. 121-124.

9. Колосов, А. И. Управление работой аварийно-восстановительных служб газораспределительной организации / А. И. Колосов, Г. А. Кузнецова, О. А. Гнездилова // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – № 1(49). – С. 29-36.

10. Чудинов, Д. М. Экспериментальные исследования изменений прочностных характеристик теплопроводов в процессе эксплуатации / Д. М. Чудинов, Н. В. Колосова, В. Л. Бочарников // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 2(3). – С. 104-107.

11. Колосов, А. И. Постановка задачи моделирования восстановления систем теплогасоснабжения при авариях / А. И. Колосов, А. Р. Макаров // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2017. – № 4(3). – С. 35-41.

Поступила в редакцию 1 марта 2021

ANALYSIS OF THE DANGER OF EMERGENCY SITUATIONS IN THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF GAS BOILER HOUSES

N. V. Kolosova, L. A. Kotova, A. A. Vysotskaya

Kolosova Nellya Viktorovna, Senior Lecturer, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(473)271-53-21; e-mail: kolosnv@yandex.ru
Kotova Larisa Alexandrovna, Master's Student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(473)271-53-21; e-mail: kottkottova@ya.ru
Vysotskaya Alexandra Alexandrovna, Master's Student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(473)271-53-21; e-mail: vysotskaya-1998@mail.ru

The purpose of the research is to analyze possible emergency situations during depressurization of the gas pipeline adjacent to the boiler room and located in it, as well as to determine the horizontal radius of action of the key damaging factors in case of an accident. As an example, an emergency situation was calculated for a section of a medium-pressure gas pipeline. The values of the maximum overpressure, the pulse of the compression phase of the air pressure waves, and the radii of the affected areas during the explosion of the fuel-air mixture are determined. Recommendations for the prevention of an emergency are given.

Keywords: gas pipeline; accident; jet fire; radius of the affected areas; overpressure.

REFERENCES

1. Solopova V. A., Grosheva A. I. *Qualitative analysis of the causes of accidents at gas boilers*. Modern science, Scientific and Information Publishing Center Institute of Strategic Studies. 2020. No. 10-1. Pp. 464-468. (in Russian)

2. Shmurygina A.V., Svintsova N. F. *Accidents on the gas pipeline in boiler rooms: causes and measures to prevent them*. Topical issues in science and practice: a collection of articles based on the materials of the XII International Scientific and Practical Conference Vol. Part 1(4). Ufa, LLC Dendra. 2018. Pp. 139-144. (in Russian)

3. Krasnykh B. A., Martynyuk V. F., Sergienko T. S., Sorokin A. A., Feoktistov A. A., Nechaev A. S. *Analysis of accidents and accidents at gas supervision facilities*. Moscow, LLC

Hazard Analysis. To nadzag, also Gosgortekhnadzor of Russia, Russian State University of Oil and Gas named after I. M. Gubkin. 2003. 320 p. (in Russian)

4. **Shchelchkova A. I., Khasanova L. F., Galeeva A. R., Martynova O. G., Akhmetshin R. I., Rakhmanova S. T., Yamaletdinova K. Sh., Yangurazova Z. A.** *Graphic analysis of fire and explosion safety of an industrial enterprise operating boiler installations*. Ufa, Electronic scientific journal of Oil and Gas Business. 2020. No. 3. Pp. 92-108. (in Russian)

5. **Beschastnov M. V.** *Industrial explosions. Assessment and prevention*. Moscow, Khimiya. 1991. 432 p. (in Russian)

6. **Puzach S. V., Kolodyazhny S. A., Kolosova N. V.** *Modified zone model for calculating the thermal and gas dynamics of a fire in a room, taking into account the shape of a convective column*. Fire and explosion safety. 2015. No. 12. Pp. 33-39. (in Russian)

7. **Puzach S. V., Kolodyazhny S. A., Kolosova N. V.** *K opredelenie forma konvektivnoy kolonki nad ochagom pozhara v indoors*. Technosphere security technologies. 2015. No. 6(64). Pp. 77-84. (in Russian)

8. **Sotnikova O. A., Kolosova N. V., Shabanov D. N.** *Rational post-accident recovery of heat supply systems*. Scientific Journal. Engineering systems and structures. 2010. No. 2(3). Pp. 121-124. (in Russian)

9. **Kolosov A. I., Kuznetsova G. A., Gnezdilova O. A.** *Management of the work of emergency and recovery services of the gas distribution organization*. Scientific Journal of Construction and Architecture. 2018. No. 1(49). Pp. 29-36. (in Russian)

10. **Chudinov D. M., Kolosova N. V., Bocharnikov V. L.** *Experimental studies of changes in the strength characteristics of heat pipelines during operation*. Scientific Journal. Engineering systems and structures. 2010. No. 2(3). Pp. 104-107. (in Russian)

11. **Kolosov A. I., Makarov A. R.** *Statement of the problem of modeling the restoration of heat and gas supply systems in accidents*. Housing and Communal infrastructure. 2017. No. 4(3). Pp. 35-41. (in Russian)

Received 1 March 2021

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Колосова, Н. В. Анализ опасности аварийных ситуаций при строительстве и эксплуатации газовых котельных / Н. В. Колосова, Л. А. Котова, А. А. Высоцкая // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 49-56. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.005.

FOR CITATION:

Kolosova N. V., Kotova L. A., Vysotskaya A. A. *Analysis of the danger of emergency situations in the construction and operation of gas boiler houses*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 49-56. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.005. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.006

УДК 628.1: 639.3.07: 631.589.2

ВНЕДРЕНИЕ АКВАПОНИКИ В ИСКУССТВЕННЫЕ БАССЕЙНЫ ПО ВЫРАЩИВАНИЮ КАРПОВЫХ И ОСЕТРОВЫХ РЫБ

Т. В. Степанова, П. О. Бочаров, А. В. Погорелова

Степанова Татьяна Викторовна, ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)207-22-20; e-mail: stv19839@gmail.com

Бочаров Павел Олегович, студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(920)215-31-19; e-mail: pa.bocharov@mail.ru

Погорелова Алёна Витальевна, студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7-950-763-59-24; e-mail: pogorelowa.alyna2014 @yandex.ru

Показана актуальность проблемы, связанной с особенностями ведения рыболовного хозяйства и растениеводства в условиях неблагоприятного климата, ограниченных территорий. Приведено описание опыта по внедрению аквапоники в схему выращивания осетровых и карповых рыб в искусственных бассейнах с использованием оборотной воды, включающую узлы очистки. В ходе исследования была разработана установка, принцип работы которой может быть использован, как решение проблематики выращивания рыб и растений в искусственно созданных условиях. Определены и описаны узлы фильтрации и очистки воды. Приведены показатели воды, показывающие работоспособность и эффективность установки. Проведено сравнение показателей оборотной воды при проведении опытов по выращиванию карповых и осетровых рыб. Приведены результаты экспериментального исследования скорости роста растений в аквапонной установке с использованием различных субстратов и воды. Выявлены преимущества проращивания семян растений при использовании оборотной воды из рыбоводного бассейна в сравнении с использованием водопроводной воды.

Ключевые слова: аквапоника; выращивание осетровых и карповых рыб; рыбоводное хозяйство; современные методы ведения сельского хозяйства; растениеводство.

Многие районы Земли непригодны для выращивания продуктов, не везде есть закрытые водоемы для ведения рыболовного хозяйства [1, 2]. Данная проблема требует разработки усовершенствованных способов ведения сельского хозяйства и рыболовства совместно с минимальными финансовыми затратами [3]. Вести рыболовное хозяйство и выращивать аквакультуру можно в закрытых помещениях, в которых проще поддерживать определённую температуру, влажность, освещение и другие необходимые для выращивания рыб и растений условия. Но, как и у любой технологии, здесь присутствуют свои минусы. Аквапоника не может сравниться по площади с традиционной методикой выращивания сельского хозяйства [4]. Так же в данной технологии нельзя существуют ограничения по выращиванию многих видов растений [5].

В лаборатории Воронежского ГТУ проведены исследования по влиянию оборотной воды на жизнедеятельность рыб и возможность использования аквапонной установки для выращивания растений с использованием воды из бассейнов по выращиванию рыбы.

Одной из целей исследования является исследование влияния оборотной воды на жизнедеятельность рыб. Оборотная вода – вода, последовательно и многократно используемая в технологических процессах по принципу замкнутых систем без сброса в поверхностные водоёмы или канализацию.

В лабораторных условиях разработана установка для очистки оборотной воды рыбоводных хозяйств (рис. 1), которая включает в себя бассейн, узлы механической и биологии

ческой очистки, нитрификации и денитрификации, а также аэрации, терморегуляции и бактерицидной обработки. Система состоит из нескольких рыбоводных ёмкостей по выращиванию карпа и осетровых [6].

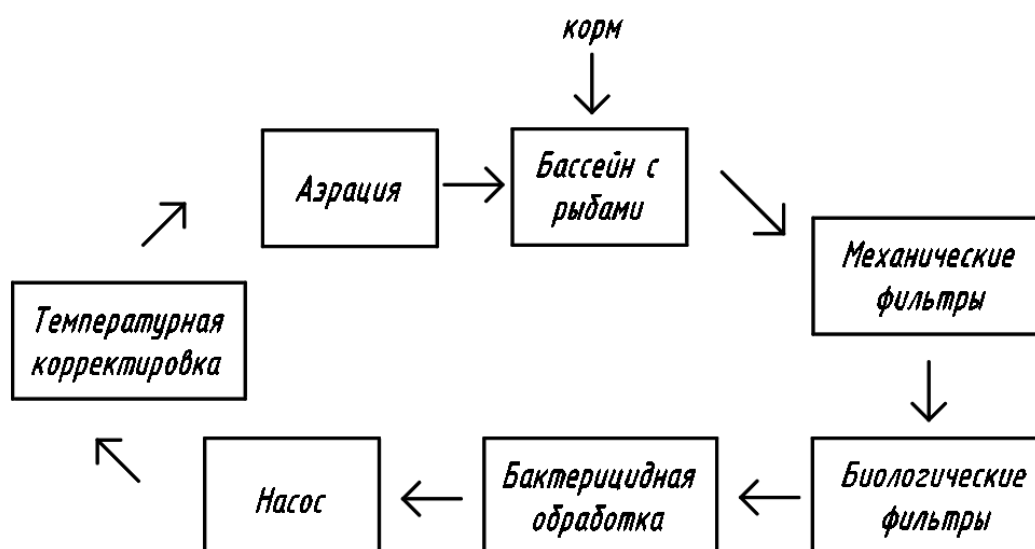


Рис. 1. Структурная схема замкнутой установки для выращивания рыб

Таблица 1

Показатели качества воды в период исследования

Показатель	Значение показателя	
	на начало исследования	на конец исследования
Температура, t	20...26 °C	20...26 °C
Показатель кислотности, ph	7,0...8,0	7,0...8,0
Взвешенные вещества	2...10 мг/л	1...9 мг/л
Окисляемость	6,0...30,0 мг/л	6,0...30,0 мг/л
Азот аммонийных солей	0,02...2,0 мг/л	0,02...1,8 мг/л
Азот нитритов	0,005...0,15 мг/л	0,005...0,15 мг/л
Азот нитратов	7,0...60 мг/л	7,0...60 мг/л
Растворённый кислород	4,0...6,0 мг/л	5,0...7,0 мг/л

Исследования показали возможность выращивания молоди карпа массой до 50...200 г в замкнутой системе с использованием установки для фильтрации и очистки воды (рис. 2). Отклонение темпов роста и физиологических характеристик от нормальных [7] замечено не было.

Индустриальное рыбоводное хозяйство, как правило, включает все основные процессы производства рыбы: содержание, инкубацию икры. Проведённые исследования по выращиванию рыб карпа и осетровых позволяют сделать вывод о практической возможности осуществления выращивания в замкнутых системах, включающих узлы очистки на фильтрах, дополнительной аэрацией, терморегуляцией, обеззараживанием воды.

С 26.02.2021 по 5.03.2021 проводилось исследование по возможности инкубации икры в замкнутых системах с использованием оборотной воды. Был проведён ряд опытов: без узлов фильтрации, с узлами фильтрации, а также с использованием клиноптилолитового фильтра.

В первом опыте после 10 часов инкубации в оборотной воде значительно выросла концентрация органических загрязнений, величина ХПК повысилась с 9,76 мг/л до 33,1 мг/л, через 20 часов значение ХПК составило 56,0 мг/л и другие показатели. Концентрация аммонийного азота – 7,7 мг/л, взвешенных веществ 35,0 мг/л.

В следующем опыте оборотная вода подвергалась очистке на фильтре с активированным углём. При работе оборотной системы в течение 66 часов, качество воды было удовлетворительно. ХПК – в пределах 10 мг/л, концентрация аммонийного азота до 1...2 мг/л, взвешенных веществ до 2,0 мг/л.



Рис. 2. Внешний вид выращиваемых рыб (осетровые и карпы)

При подключении клиноптилолитового фильтра повышался эффект очистки воды: содержание взвешенных веществ до 1 мг/л, аммонийного азота до 0,5 мг/л.

Все показатели органических загрязнений на период исследования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели концентраций органических загрязнений

Наименование показателя	Значение показателя				
	на начало исследования	через 10 часов	через 20 часов	на конец исследования	при добавлении клиноптилолитового фильтра
ХПК, мг/л	9,76	33,1	56,0	10	10
Концентрация аммонийного азота, мг/л	-	-	7,7	1-2	1
Концентрация взвешенных веществ, мг/л	-	-	35,0	2	0,5

Проведённые опыты по инкубации икры карпа позволяют сделать вывод о практической возможности осуществления этого процесса в замкнутой системе, включая узлы очистки на фильтрах, активированном угле и цеолитах. Все показатели соответствуют рекомендованным значениям [7, 8].

Важно отметить, что при проведении опыта по инкубации икры нужно учитывать сложность требуемого блока очистки оборотной воды, что применимо не для всех инкубационных хозяйств, и требует соответствующего технико-экономического обоснования. Система обязательно должна быть дополнена узлами аэрации, терморегуляции и обеззараживания воды.

В продолжение исследования замкнутой системы рыбоводного хозяйства дополнили её аквапонной установкой. Аквапоника отлично дополняет систему по выращиванию осетровых и карповых рыб в искусственных бассейнах [9, 10, 11].

В уже существующую установку для очистки и регенерации оборотной воды рыбоводных хозяйств, включающую в себя бассейн, узлы механической и биологической

очистки, нитрификации и денитрификации, а также аэрации, терморегуляции и бактерицидной обработки добавили аквапонную установку и дополнительный свет для растений (рис. 3).

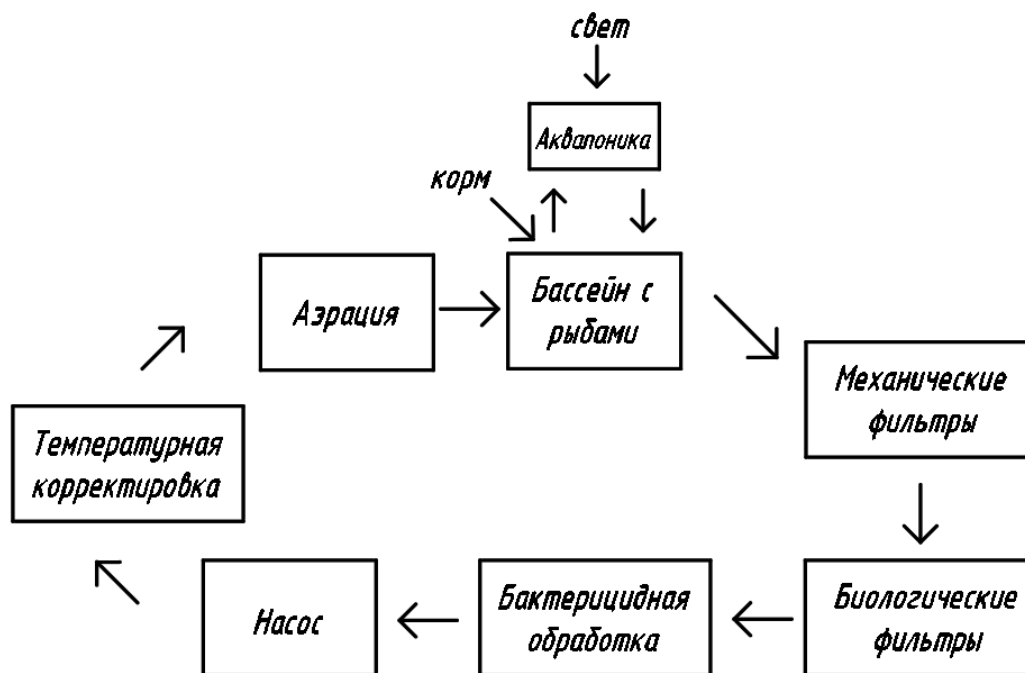


Рис. 3. Структурная схема замкнутой установки с добавлением аквапоники

Для оценки эффективности применения воды из рыбоводной емкости для использования в аквапонной установке был проведен лабораторный опыт по выращиванию растений. Для сравнения параллельно проводили опыты с использованием водопроводной воды.

Были проведены тесты по оценке качества воды из рыбоводной ёмкости, которые показали, что она соответствует всем параметрам качества воды, пригодной для ведения рыбоводного хозяйства и для выращивания растений (рис. 4).

Дополнительно была поставлена задача – сравнить, в каком субстрате быстрее и лучше прорастут растения. Для проращивания были выбраны земля и камни. В опыте участвовали четыре вида растений: лук-батун «Апрельский», петрушка «Бутербродная», салат «Дубрава», базилик «Зелёный».

Каждая культура была посажена в две емкости – с землёй и камнями соответственно.

Дата посева растений – 05.03.2021, даты появления всходов приведены в табл. 3, а также представлены в виде диаграмм (рис. 5, 6)

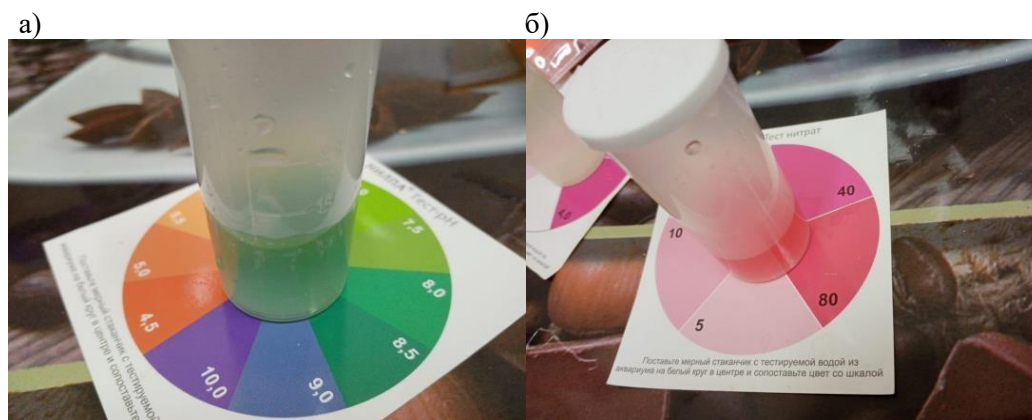


Рис. 4. Результаты оценки качества оборотной воды из рыбоводной емкости:
а – Ph тест; б – нитрат-тест

Таблица 3

Сравнение всходов растений при использовании различных субстратов

Наименование растения	Дата появления всходов			
	вода из бассейна		водопроводная вода	
	емкость с землей	емкость с камнями	емкость с землей	емкость с камнями
Салат «Дубрава»	07.03	07.03	07. 03	07. 03
Базилик «Зелёный»	08.03	09.03	-	09. 03
Лук-батун «Апрельский»	10.03	09. 03	-	09. 03
Петрушка «Бутербродная»	14.03	21. 03	-	22. 03

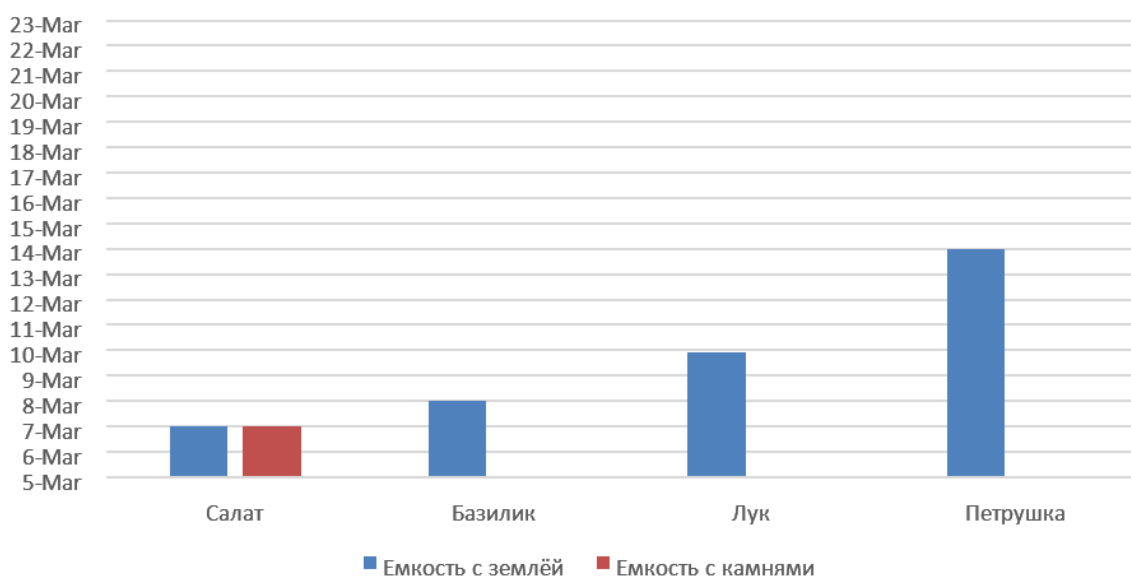


Рис. 5. Даты всходов семян в емкостях с землей

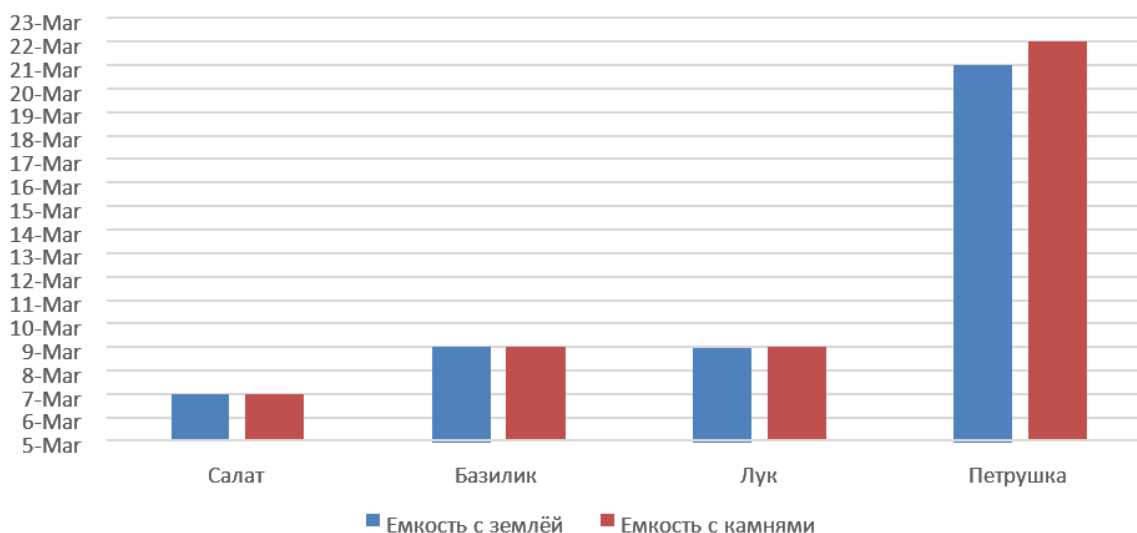


Рис. 6. Даты всходов семян в емкостях с камнями

По графикам видно, что в емкостях землёй при использовании воды из бассейна культуры лучше всходят. А в емкостях с камнями всходы появились одинаково, независимо от типа воды.

Вторым этапом исследований являлось наблюдение за ростом растений и сравнение полученных результатов. Результаты проиллюстрированы на рис. 7. При использовании воды из бассейна растения всходят и растут активнее, чем при использовании водопроводной воды. Листья салата, который рос в ёмкости с водой из бассейна с рыбами, имеют более зелёный и насыщенный цвет в сравнении с листьями салата, который рос в ёмкости с водопроводной водой [12].



Рис. 7. Внешний вид посаженных растений на 22 марта:
слева – в ёмкости с водопроводной водой, справа – в ёмкости с водой из бассейна

Заключение.

Проведённые исследования позволяют сделать вывод о практической возможности выращивания рыб карпа и осетровых в замкнутых системах, включающих бассейн, узлы очистки на фильтрах, узлы дополнительной аэрации, терморегуляцию, обеззараживание воды. Опыты показали, что параметры воды после необходимых узлов очистки были пригодными для выращивания рыб в искусственных бассейнах.

В результате лабораторного исследования доказана эффективность использования воды из бассейна с рыбами для выращивания растений на основе аквапоники. Сравнение проводилось с растениями, выращенными с использованием водопроводной воды. Доказано, что на основе аквапоники возможно получение здоровых растений без внешних повреждений.

Использование искусственных бассейнов по выращиванию карповых и осетровых, дополненных аквапоники и включающих все необходимые узлы очистки, может решить проблему, связанную с трудностью ведения рыболовного хозяйства и растениеводства в условиях неблагоприятного климата, ограниченных территорий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Рыжков, Л. П.** Основы рыбоводства: учебник / Л. П. Рыжков, Т. Ю. Кучко, И. М. Дзюбук. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 528 с.
2. **Яковлев, С. В.** Рациональное использование водных ресурсов: учебник для вузов по специальности «Водоснабжение, канализация, рациональное использование и охрана

водных ресурсов» / С. В. Яковлев, И. В. Прозоров, Е. Н. Иванов, И. Г. Губий. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.

3. **Завражнов, А. И.** Тенденции развития инженерного обеспечения в сельском хозяйстве: учебник для вузов / А. И. Завражнов, Л. В. Бобрович, С. М. Ведищев [и др.]; Под редакцией академика РАН А. И. Завражнова. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 688 с.

4. **Помазунова, Т. Н.** Аквапоника как устойчивая система производства продуктов питания / Т. Н. Помазунова, А. А. Кузов, И. А. Маркина // Исследования молодых ученых – вклад в инновационное развитие России доклады молодых ученых в рамках программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («У.М.Н.И.К»). Составитель М. В. Лозовская. – 2014. – С. 257-258.

5. **Брайнбалле, Я.** Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения / Я. Брайнбалле. – Копенгаген: ФАО, 2010. – 74 с.

6. **Спотт, С.** Содержание рыб в замкнутых системах. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 192 с

7. **Сыздыков, К. Н.** Рыбоводные показатели рыб при выращивании в аквaponике / К. Н. Сыздыков, Ж. К. Куржыкаев, С. Н. Нарбаев [и др.] // Вестник науки КАТУ им. С.Сейфуллина. – 2017. – № 3. – С. 53-59.

8. **Проскуренок, И. В.** Замкнутые рыбоводные установки. – М.: Изд-во ВНИРО, 2003. – 152 с.

9. **Пономарев, С. В.** Аквакультура: учебник / С. В. Пономарев, Ю. М. Баканева, Ю. В. Федоровых. – Санкт-Петербург: Лань, 2017. – 440 с.

10. **Довлатов, И. М.** Возможность производства экологически чистой продукции растениеводства и аквакультуры в контролируемых условиях среды / И. М. Довлатов, А. А. Смирнов, Ю. А. Прошкин // Инновации в сельском хозяйстве. – 2020. – № 1(34). – С. 80-86.

11. **Васильева, Л. М.** Проблемы и перспективы развития аквакультуры в Российской Федерации / Л. М. Васильева // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. – 2015. – № 1. – С. 18-23.

12. **Лапин, А. А.** Биохимическое исследование листового салата, выращенного в условиях аквaponики / А. А. Лапин, С. Д. Борисова, М. Л. Калайда, В. Н. Зеленков // Бутлеровские сообщения. – 2019. – Т. 59. – № 8. – С. 132-139.

Поступила в редакцию 5 июля 2021

IMPLEMENTATION OF AQUAPONICS IN ARTIFICIAL POOLS FOR GROWING CARP AND STURGEON FISH

T. V. Stepanova, P. O. Bocharov, A. V. Pogorelova

Stepanova Tatyana Viktorovna, Assistant of the Department of Water Supply and Wastewater Disposal, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(473)207-22-20; e-mail: stv19839@gmail.com

Bocharov Pavel Olegovich, student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(920)215-31-19; e-mail: pa.bocharov@mail.ru

Pogorelova Alena Vitalievna, student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(950)763-59-24; e-mail: pogorelowa.alyona2014 @ yandex.ru

We demonstrated the relevance of the problem associated with the difficulty of fishing and plant growing in an unfavorable climate, limited territories. We described the experience of introducing aquaponics into the scheme of growing sturgeon and carp fish in artificial pools using circulating water, including purification units. In the course of the study we developed an installation, the principle of operation of which can be used as a solution to the problem of growing fish and plants in artificially created conditions. As well we identified and described the nodes of water filtration and its purification. We demonstrated indicators of water that

show the operability and efficiency of the installation. We also carried out comparison of indicators of circulating water during experiments with growing carp and sturgeon fish. As well we made a comparison of the efficiency and growth rate of plants in an aquaponic installation using various substrates and water. The advantages of germination of plant seeds with the use of circulating water from the fish-breeding basin in comparison with the use of tap water have been revealed.

Keywords: aquaponics; sturgeon and carp fish farming; fish farming; modern farming methods; plant growing.

REFERENCES

1. **Ryzhkov L. P., Kuchko T. Yu., Dzyubuk I. M.** *Fundamentals of fish farming: textbook*. St. Petersburg, 2021. 528p. (in Russian)
2. **Yakovlev S. V., Prozorov I. V., Ivanov E. N., Gubiy I. G.** *Rational use of water resources: a textbook for universities in the specialty Water supply, sewerage, rational use and protection of water resources*. Moscow, Higher School. 1991. 400 p. (in Russian)
3. **Zavrazhnov A. I., Bobrovich L. V., Vedishchev S. M.** *Trends in the development of engineering support in agriculture: a textbook for universities*. St. Petersburg, Lan. 2021. 688 p. (in Russian)
4. **Pomazunova T. N., Kuzov A.A., Markina I. A.** *Aquaponics as a sustainable food production system*. In the collection: Research of young scientists – a contribution to the innovative development of Russia, reports of young scientists in the framework of the program Participant of the youth scientific and innovative competition (U.M.N.I.K.). 2014. Pp. 257-258. (in Russian)
5. **Brineballe J.** *Guidelines for aquaculture in recirculated water installations*. Copenhagen, FAO. 2010. 74 p.
6. **Spott S.** *Keeping fish in closed systems*. Moscow, Light and food industry. 1983. 192 p.
7. **Syzdykov K. N., Kurzhykaev Zh. K., Narbaev S. N.** *Fish culture performance of fish when grown in aquaponics*. Science Bulletin KATU named after. S. Seifullin. 2017. No. 3. Pp. 53-59. (in Russian)
8. **Proskurenko I. V.** *Closed fish breeding installations*. Moscow, publishing house VNI-RO. 2003. 152 p. (in Russian)
9. **Ponomarev S. V., Bakaneva Yu. M., Fedorovykh Yu. V.** *Aquaculture: textbook*. St. Petersburg, Lan. 2017. 440 p. (in Russian)
10. **Dovlatov I. M., Smirnov A. A., Proshkin Yu. A.** *The ability to produce ecologically clean crop and aquaculture products under controlled environmental conditions*. Agricultural innovations. 2020. No. 1(34). Pp. 80-86. (in Russian)
11. **Vasilyeva L. M.** *Problems and prospects for the development of aquaculture in the Russian Federation*. Technologies of food and processing industry Agroindustrial complex – healthy food products. 2015. No. 1. Pp. 18-23. (in Russian)
12. **Lapin A. A., Borisova S. D., Kalayda M. L., Zelenkov V. N.** *Biochemical study of lettuce grown in aquaponics*. Butlerov communications. 2019. Vol. 59. No. 8. Pp. 132-139. (in Russian)

Received 5 July 2021

Для цитирования:

Степанова, Т. В. Внедрение аквапоники в искусственные бассейны по выращиванию карповых и осетровых рыб / Т. В. Степанова, П. О. Бочаров, А. В. Погорелова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 57-64. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.006.

FOR CITATION:

Stepanova T. V., Bocharov P. O., Pogorelova A. V. *Implementation of aquaponics in artificial pools for growing carp and sturgeon fish*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 57-64. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.006. (in Russian)

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

CITY. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.007

УДК 728.1

РАЗВИТИЕ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ РЫНКА АПАРТАМЕНТОВ

Г. Г. Мохов, М. Е. Дементьева

Мохов Георгий Глебович, инженер, АО «Level Group», Москва, Российская Федерация, тел.: +7(905)797-60-38; e-mail: georgy.mokhov@gmail.com

Дементьева Марина Евгеньевна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищного коммунального комплекса, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Российская Федерация, тел.: +7(916)353-18-31; e-mail: 7dem@mail.ru

В статье проанализированы характерные риски, возникающие при возведении и эксплуатации апартментов. Объектом исследований являлись апартменты как вид востребованной недвижимости и их роль в эволюции городской застройки. Целью исследования являлось изучение проблем и перспектив развития рынка апартментов и возможности их успешного включения в жизнь современных городов. Выполнен аналитический обзор научных исследований, рассматривающих основные тенденции устойчивого развития городов. Изучен опыт разработки Стандарта комплексного развития территорий, подготовленного Минстроем РФ. Проанализирована динамика объема спроса и предложения апартментов на первичном рынке недвижимости г. Москвы. Разработана диаграмма корневых причинно-следственных связей рисков приобретения и управления апартментами. Выполнено сравнение градостроительных, технико-экономических и эксплуатационных характеристик квартир и апартментов экспертным методом. На основе ранжирования рисков даны предложения по их минимизации. Результаты исследований могут быть применены для совершенствования законодательной базы в области градостроительной деятельности.

Ключевые слова: риски; эксплуатация; инфраструктура; градостроительство; налогообложение; жилищно-коммунальные услуги.

Основополагающей тенденцией устойчивого развития современной городской застройки является ее ориентация на потребности пользователей с безусловным обеспечением безопасности и комфортности жизнедеятельности, а также экономичности градостроительных процессов [1...4]. Значительная доля научных публикаций отечественных и зарубежных ученых в области градостроительной деятельности посвящена изучению эволюционного развития устойчивой городской среды путем реконструкции с повышением или понижением плотности застройки, улучшения технического состояния сложившейся застройки, развития подземного строительства, применения современных энергоэффективных и информационных технологий при проектировании, возведении и последующей эксплуатации градостроительных объектов [5...9]. Данные тенденции были учтены Минстроем России при разработке «Стандарта комплексного развития территорий», подготовленного в рамках Указа Президента РФ «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». В частности, Стандартом установлены такие важные принципы развития городских территорий, как функциональное разнообразие, комфорт перемещений, безопасность городской среды, соответствие жилья потребностям горожан.

Вместе с тем, по данным Минстроя России около 20% населения до сих пор проживают в стесненных условиях и нуждаются в увеличении жилой площади. При этом сейчас застройщики нередко ориентированы на строительство не только жилищного фонда, но и так называемых апартментов, что обосновывает актуальность настоящего исследования, направленного на изучение особенностей развития современной городской застройки с учетом формирования рынка апартментов. Исторический анализ формирования рынка апартментов на примере г. Москвы показывает, что первые апартменты в России появились в Москве около 20 лет назад в начале двухтысячных годов XXI века. За это время из элитной недвижимости для обеспеченных слоев населения они перешли в востребованный населением формат жилья. На сегодняшний день количество строящихся апартментов в Москве существенно возросло. Например, по данным инвестиционно-риэлторской компании EST-A-TET на долю апартментов приходится порядка 25% от общей площади жилья на первичном рынке недвижимости, при этом наблюдается стабильная тенденция к росту спроса (рис. 1).

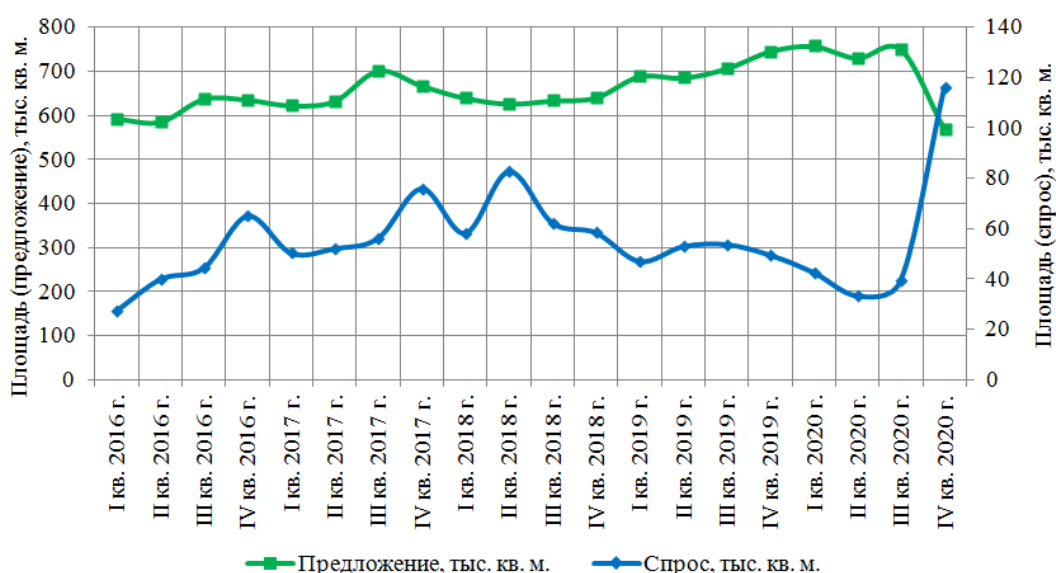


Рис. 1. Динамика объема спроса и предложения апартментов на первичном рынке недвижимости г. Москвы по данным аналитического отчета инвестиционно-риэлторской компании Est-a-Tet

Наибольшая часть предложений, а именно 310 тыс. кв. м. или 41 % относится к бизнес-классу. Доля апартментов премиум-класса составляет 26 % или 194 тыс. кв. м. На третьем месте идет сегмент комфорт-класса, на который приходится 20% предложений или 168 тыс. кв. м., а элитный сегмент составляет 12 %. При этом апартменты возводятся во всех административных округах г. Москвы (рис. 2).

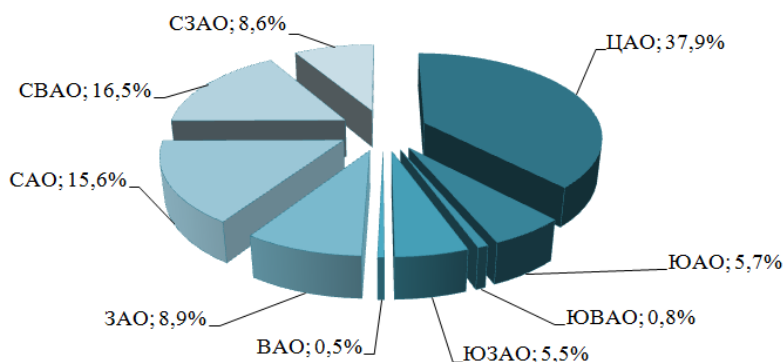


Рис. 2. Структура предложения апартментов по округам г. Москвы по данным аналитического отчета инвестиционно-риэлторской компании Est-a-Tet

С каждым годом ситуация на рынке недвижимости существенно меняется: стартуют новые проекты, появляется новый объем предложений, изменяется структура спроса. Так, самыми востребованными сегодня являются апарт-комплексы в структуре смешанной застройки – такие проекты, включают в своем составе как традиционные квартиры, выполненные с учетом градостроительных норм, так и апартаменты. В такие комплексы входит, в том числе, и развитая социальная инфраструктура. Повышенным спросом пользуются проекты бизнес-класса, которые в основном расположены недалеко от деловых центров и крупных транспортно-пересадочных узлов и имеют, как правило, локацию в центре Москвы.

Аналитический обзор научных исследований роли апартаментов в градостроительной политике [10...12] подтверждает высокие социально-экономические, правовые риски возведения данного вида объектов, что в совокупности с их достаточной популярностью среди населения обосновывает необходимость и актуальность дополнительных исследований. Поэтому объектом исследования являются апартаменты как вид недвижимости в структуре современной городской застройки. Предметом исследования является изучение рисков, возникающих на различных этапах жизненного цикла при формировании рынка апартаментов, с учетом обеспечения устойчивого развития городской среды. Целью работы является изучение проблем и перспектив развития рынка апартаментов и возможности их успешного включения в жизнь современных городов. В задачи исследования входит изучение составляющих риска и разработка предложений по их минимизации.

При изучении перспектив развития рынка апартаментов как объектов последующей эксплуатации и их влияния на градостроительное развитие городов для решения поставленных задач в работе были сделаны следующие допущения:

1) классификация и ранжирование рисков производится на эксплуатационном периоде – с момента ввода объекта недвижимости в эксплуатацию.

2) риски имеют одно последствие – несоответствие стандарту комплексного устойчивого развития городских территорий, которое подразумевает отклонение характеристик объекта недвижимости и территории от требований законодательства: градостроительных, социальных, технических и прочих параметров эксплуатационных качеств.

3) ущерб связан со снижением экономической эффективности при эксплуатации объекта недвижимости.

Данные допущения легли в основу методики исследования и определения критериев оценки и ранжирования рисков [1316], концептуальный анализ которых подразумевает:

- ✓ определение совокупности критериев для оценки рисков;
- ✓ системный анализ последствий рисков, возникающих в ходе формирования рынка апартаментов;
- ✓ экспертную оценку тяжести и возможности минимизации рисков;
- ✓ разработку предложений по управлению рисками с наименьшими последствиями и ущербом.

В качестве методологического инструмента для наглядного представления причин и последствий рисков приобретения и управления апартаментами использована диаграмма Исикавы. Далее, на следующем этапе методом парного сравнения произведено сопоставление апартаментов и традиционного жилья по совокупности критериев. При выполнении сравнительной оценки был применен комплексный подход на основе экспертных методов. Отдельные критерии рисков выражены в количественных показателях, например, стоимостные критерии. Часть критериев имеют качественные значения, например, правовые риски. Итоговое сравнение основано на методе непосредственной оценки: присваивание балльных числовых значений, при этом эквивалентным решениям присваиваются одинаковые значения: «-1» – отсутствие преимущества; «+1» – наличие преимущества; «0» – равнозначность. В заключение выполняется ранжирование рисков по 9-балльной шкале в за-

висимости от возможности их минимизации: ранг 1-3 присваивается низким рискам с высокой вероятностью устранения; ранг 4-6 присваивается средним рискам с высокой вероятностью минимизации; ранг 7-9 присваивается высоким рискам с низкой вероятностью минимизации.

Результаты анализа деятельности девелоперских компаний свидетельствуют о том, что примерно каждая десятая сделка на рынке московской недвижимости приходится на апартаменты. При этом доля апартаментов сегодня ориентировочно составляет 28 % от совокупной площади предложений в Москве, т.е. около 8 тысяч апартаментов общей площадью 750 тыс. кв. м. Несомненно, главной причиной выбора апартаментов среди покупателей, за исключением дорогостоящих сегментов, является их более привлекательная стоимость. Разницу в цене, которая может составлять более 20 %, усиливают малые площади: так, значительную долю первичного рынка апартаментов занимают лоты до 40 кв. м., что составляет 16,8 %.

Первичным фактором возникновения всех рисков при формировании рынка апартаментов является отсутствие закрепленного юридического статуса понятия «апартаменты» в российском законодательстве. Так, в статье 15 Жилищного кодекса РФ отмечено, что «жилым помещением признается изолированное помещение, которое является недвижимым имуществом и пригодно для постоянного проживания граждан». Статья 288 Гражданского кодекса РФ указывает, что «жилые помещения предназначены для проживания граждан. Гражданин – собственник жилого помещения может использовать его для личного проживания и проживания членов его семьи», из чего следует, что обязательной характеристикой любого жилья служит его функциональное назначение: оно предназначено для проживания граждан. В соответствии со статьей 16 Жилищного кодекса РФ «к жилым помещениям относятся: жилой дом, часть жилого дома, квартира, часть квартиры, комната». Таким образом, понятие «апартаменты» не закреплено ни одним законом, вместо этого используют формулировку «нежилое помещение», т.е. по юридическому статусу апартаменты стоят на одном уровне с коммерческой недвижимостью. Следовательно, юридически возводить и использовать их в качестве жилых объектов недопустимо.

Разработанный Минстроем России «Свод принципов комплексного развития городских территорий» также не включает в состав жилой застройки апартаменты. В нем приведена формулировка территории жилой застройки, которая «представлена преимущественно жилыми зданиями, а нежилые объекты связаны с удовлетворением повседневных потребностей жителей», а также формулировка территории многофункциональной застройки, «где объекты нежилого назначения составляют свыше 20 %, но не более 70 % от общей площади зданий и, как правило, включают в себя офисы, малые производства, гостиницы, апартаменты». Таким образом, несоответствие фактического использования апартаментов и их юридического статуса порождает следующие социально-экономические, градостроительные и эксплуатационные риски:

а) в большинстве случаев при строительстве апартаментов не возводится социальная инфраструктура, поэтому их пользователи и жители испытывают недостаток социально значимых объектов в пешей доступности. При этом, строят их, как правило, в локациях небольших размеров, где возводить объекты для постоянного проживания запрещено согласно законодательству, а места для инфраструктурных объектов попросту нет. Таким образом, девелоперы предпочитают строительство апартаментов не только по причине растущей популярности данного сегмента среди покупателей в качестве жилья, но и из-за дефицита площадок в центральных районах Москвы, где можно возводить апартаменты «бизнес» и «премиум» класса, но нельзя вести жилую застройку. Изменить разрешенный вид использования территории, выделенной под строительство практически невозможно, поэтому застройщики выкупают участки, расположенные в промышленных зонах, вблизи развитой транспортной инфраструктуры, складских объектов, старых административных зданий и строят на этих землях апарт-комплексы.

б) поскольку апартаменты не являются жильем, никаких обязательств девелопер и управляющая компания перед пользователями не несет, несмотря на массу часто возникающих бытовых неурядиц. Ввиду того, что на апартаменты не распространяются нормы Жилищного кодекса РФ, при возведении нежилых помещений установлены менее жесткие нормы технических регламентов и стандартов в части звуко-, шумоизоляции, расстояний между зданиями, инсоляции и пр. и поэтому владельцы, например, не могут пожаловаться на шумное соседство рядом расположенного бара.

в) в апартаментах нельзя оформить постоянную регистрацию, так как у них статус нежилого помещения. Можно оформить только временную регистрацию, сроком на пять лет с последующей пролонгацией, либо пройти процедуру перевода помещения в статус жилого. При этом помещение должно соответствовать требованиям нормативно-технических документов, предъявляемым к помещениям подобного вида. Поэтому сейчас этот вид недвижимости востребован в первую очередь среди тех инвесторов, для которых не важна регистрация. С другой стороны, статус нежилого помещения делает проще процедуру согласования перепланировки во время ремонта.

г) статус апартаментов как нежилого помещения оставляет застройщику возможность оформления сделки с использованием разных форм договоров, что ведет к существенным рискам для покупателя. Эти сделки не регистрируют в Росреестре, соответственно покупатель не защищен от двойных продаж и рассчитывать на возврат денег не может. Помимо этого, после приобретения апартаментов не полагается налоговый вычет, который предоставляется покупателям квартир.

д) в отличие от квартир к апартаментам не предъявляются требования, обозначенные в Жилищном кодексе РФ относительно порядка управления общим имуществом дома. Управление апарт-комплексами и полное их обслуживание берет на себя управляющая компания (УК), выбранная застройщиком. УК разрабатывает регламент и стандарты обслуживания, придерживаясь гостиничного формата. Как правило, УК также предоставляет собственникам услуги по сдаче их апартаментов в аренду. Таким образом, собственник апартаментов получает услуги по технической эксплуатации объекта, а также охране и безопасности. Однако, тарифы на коммунальные услуги в апартаментах выше, т.к. установлены как для объекта коммерческой застройки, а льготы при оплате ЖКУ недоступны. Помимо этого, собственники апартаментов должны оплачивать дополнительные услуги «сервисного» характера (консьерж-сервис, охрану, содержание помещений общего пользования, паркинг и т.п.). Поэтому коммунальные платежи и налоги владельцев апартаментов оказываются выше в среднем на 15 %, чем у собственников квартир.

На основании проведенного анализа, для наглядного представления систематизированных рисков приобретения и управления в период владения апартаментами, построена диаграмма причин и следствий Исикавы (рис. 3).

По результатам системного анализа последствий рисков, возникающих при строительстве апартаментов, было выполнено их сравнение с квартирами (таблица) по совокупности градостроительных, технико-экономических, правовых характеристик.



Рис. 3. Диаграмма причин рисков снижения качества городской застройки вследствие формирования рынка апартментов

Ранжирование рисков при экспертном сравнении квартир и апартментов

Критерии сравнения	Результаты экспертного сравнения		Оценка тяжести последствий при возведении и эксплуатации объекта недвижимости	Ранжирование рисков по возможности их минимизации
	Квартира	Апартменты		
Стоимость	-1	+1	Разница в стоимости приобретения может достигать 20 %	-
Налог на имущество	+1	-1	Разница в налоге может достигать 4...6 раз	3
Налоговый вычет	+1	-1	Отсутствует	3
Ипотека	+1	-1	Отсутствие льгот	3
Материнский капитал	+1	-1	Невозможность использования	7
Требования Жилищного законодательства	+1	-1	Отсутствуют, жилищные программы не действуют	9
Требования технических регламентов, сводов правил, стандартов	+1	-1	Нормирование как для нежилой недвижимости	9
Регистрация собственника	+1	-1	В апартментах возможна только временная регистрация	3
Инфраструктура	+1	-1	Необязательна	7
Управляющая компания	0	0	Смена УК регламентируется законодательством	3
Тарифы на ЖКУ	+1	-1	Разница в тарифах на предоставление коммунальных ресурсов может достигать 15...20 %, на обслуживание до 3...4 раз, дотации отсутствуют	5
Перепланировка	-1	+1	Только по согласованию с надзорными органами	-
Затраты на капитальный ремонт	0	0	Средства (взносы) собственника	3

Заключение.

Выполнен анализ роли рынка апарт-апартаментов в современной градостроительной политике. Установлено, что в концепции устойчивого развития городских территорий ведущую роль играет соответствие жилья и окружающей среды потребностям горожан, что обеспечивается при возведении и эксплуатации объектов городской застройки согласно требованиям нормативно-технической документации. Вместе с тем исследования показывают, что неотъемлемой частью современной городской застройки стало повсеместное возведение апарт-апартаментов, которые не отвечают современным стандартам жилья.

На основании выполненного авторами ранжирования рисков, возникающих при строительстве и последующей эксплуатации апарт-апартаментов, можно определить приоритетные направления по их управлению с учетом обеспечения требований законодательства к качеству городской среды:

✓ трансферт риска путем определения юридического статуса апарт-апартаментов. В этом случае по социально-экономическим и правовым критериям апарт-апартаменты могут быть приближены к жилью (риски ранга «3» и «5»). При этом очевидно, что уже построенные объекты по градостроительным, техническим и эксплуатационным характеристикам сильно отличаются от жилой застройки (риски ранга «7» и «9»), следовательно, речь должна идти не о присвоении апарт-апартаментам статуса квартир, а об их выделении в отдельную категорию помещений.

✓ удержание риска путем устройства инфраструктурных объектов внутри апарт-комплекса, при этом требуется разработка новых строительных стандартов и правил для их проектирования.

✓ разделение риска путем классификации апарт-апартаментов на безопасные и небезопасные с точки зрения соответствия требованиям технических регламентов. В этом случае некоторые риски останутся, бесспорно, высокими. В качестве примера можно привести возможность использования материнского капитала только по решению в индивидуальном порядке в том случае, если апарт-апартаменты будут соответствовать всем требованиям безопасности и комфортности для проживания семей с детьми.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Звягинцева, А. В.** Взаимосвязь градостроительного и социально-экономического развития городов России / А. В. Звягинцева, О. А. Иващук // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 2(76). – С. 95-104.
2. **Семченков, Л. В.** Современные проблемы градостроительства в условиях развития городских территорий / Л. В. Семченков // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – № 2(142). – С. 39-48.
3. **Бакаева, Н. В.** К задачам нормирования комфортности и безопасности среды жизнедеятельности города / Н. В. Бакаева, И. В. Черняева // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 1(87). – С. 101-112.
4. **Михайлова, Т. В.** Формирование комфортной городской среды в жилых районах на примере города Воронежа / Т. В. Михайлова, В. Д. Фернюк // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 4(7). – С. 50-56.
5. **Касьянов, В. Ф.** Реконструкция как форма развития города / В. Ф. Касьянов, О. И. Чернышева // Научное обозрение. – 2016. – № 12. – С. 43-49.
6. **Воробьева, Ю. А.** Применение информационных систем при планировании капитального ремонта зданий / Ю. А. Воробьева, К. Н. Гашкова, А. Л. Мишуров // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 2(5). – С. 62-68.
7. **Дементьева, М. Е.** Перспективы интеллектуализации зданий при реконструкции жилой застройки / М. Е. Дементьева, Е. В. Педяш // Научное обозрение. – 2017. – № 20. – С. 167-170.

8. **Касьянов, В. Ф.** Основные подходы к обновлению сложившейся территории городов / В. Ф. Касьянов, Н. А. Табаков // Научное обозрение. – 2012. – № 2. – С. 159-165.
9. **Дементьева, М. Е.** Задачи развития рекреационных зон в условиях сложившейся застройки городов / М. Е. Дементьева, П. В. Петров, А. А. Попов // Естественные и технические науки. – 2014. – № 9-10(77). – С. 465-467.
10. **Полиди, Т. Д.** Развитие рынка апартментов как пример неэффективной градостроительной политики / Т. Д. Полиди, Т. К. Байкова, Е. В. Игуменов // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2016. – № 4(175). – С. 60-74.
11. **Simankina, T. L.** Application of the pert method in scheduling of construction of apart-hotel for energy consumption economy / T. L. Simankina, Yu. A. Kibireva, A. B. Mottaeva, M. S. Gusarova // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2019. – Vol. 983. – Pp. 138-145.
12. **Куракин, А. С.** Правовое регулирование апартментов в России: проблемы и перспективы / А. С. Куракин // Legal Bulletin. – 2019. – Т. 4. – № 3. – С. 50-56.
13. **Касьянов, В. Ф.** Анализ методов и моделей принятия оптимальных решений при реконструкции городских территорий / В. Ф. Касьянов, Н. А. Табаков // Научное обозрение. – 2012. – № 2. – С. 166-171.
14. **Дементьева, М. Е.** Обзор принципов обоснования проектных решений по реконструкции жилой застройки / М. Е. Дементьева, Е. В. Педяш // Научное обозрение. – 2017. – № 15. – С. 24-27.
15. **Lapidus A.** Formation of methods for assessing the effectiveness of industrial areas' renovation projects / A. Lapidus, T. Dmitry // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 471. – Pp. 022034.
16. **Popova O.** Analysis of the methods for assessing socio-economic development level of urban areas / O. Popova, E. Bogacheva // AIP Conference Proceedings. – 2017. – Vol. 1800. – Pp. 050015.

Поступила в редакцию 9 июня 2021

EVOLUTION OF URBAN DEVELOPMENT TAKING INTO ACCOUNT THE FEATURES OF THE APARTMENT MARKET FORMING

G. G. Mokhov, M. E. Dement'eva

Mokhov Georgy Glebovich, engineer, Developer company «Level Group», Moscow, Russia, phone: +7(905)797-60-38; e-mail: georgy.mokhov@gmail.com

Dement'eva Marina Evgen'evna, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, phone: +7(916)353-18-31; e-mail: 7dem@mail.ru

The article analyzes the characteristic risks that arise during the construction and operation of apartments. The object of the research was apartments as a type of demanded real estate and their role in the evolution of urban development. The aim of the study was to study the problems and prospects for the development of the apartment market and the possibility of their successful integration into the life of modern cities. We carried out an analytical review of publications considering main trends in sustainable urban development. We analyzed the experience of developing the Standard for the integrated development of territories prepared by the Ministry of Construction of the Russian Federation. As well we determined the dynamics of the volume of demand and supply of apartments in the primary real estate market of Moscow. We created a diagram of the root cause-effect relationships of the risks of acquiring and managing apartments. Also we compared urban planning, technical, economic and operational characteristics of apartments and apartments by an expert method. We offered some ideas for risk minimization, based on the ranking of these risks. The research results can be applied to improve the legislative framework in the field of urban planning activities.

Keywords: risks; operation; infrastructure; urban planning; taxation; housing and communal services.

REFERENCES

1. **Zvyagintseva A. V., Ivashchuk O. A.** *The town-building and social-economic development relationship in Russian cities.* Building and reconstruction. 2018. No. 2(76). Pp. 95-104. (in Russian)
2. **Semchenkov L. V.** *Modern problems of urban planning in terms of urban areas development.* Proceeding of the Donbas national academy of civil engineering and architecture. 2020. No. 2(142). Pp. 39-48. (in Russian)
3. **Bakaeva N. V., Chernyaeva I. V.** *The problem of norming in the field of comfort and safety environment of the city.* Building and reconstruction. 2020. No. 1(87). Pp. 101-112. (in Russian)
4. **Mikhailova T. V., Fernyuk V. D.** *The formation of a comfortable urban environment in the residential areas on the example of Voronezh city.* Housing and utilities infrastructure. 2018. No. 4(7). Pp. 50-56. (in Russian)
5. **Kasyanov V. F., Chernysheva O. I.** *Reconstruction as a form of urban development.* Scientific Review. 2016. No. 12. Pp. 43-49. (in Russian)
6. **Vorob'eva Y. A., Gashkov K. N., Mishurov A. L.** *Application of information systems at planning of capital repairs of buildings.* Housing and utilities infrastructure. 2018. No. 2(5). Pp. 62-68. (in Russian)
7. **Dement'eva M. E., Pedyash E. V.** *Prospects of intellectualizing buildings in the course of housing reconstruction.* Scientific Review. 2017. No. 20. Pp. 167-170. (in Russian)
8. **Kasyanov V. F., Tabakov N. A.** *Tasks of development of recreation zones in the conditions of the current city development.* Natural and technical sciences. 2012. No. 2. Pp. 159-165. (in Russian)
9. **Dement'eva M. E., Petrov P. V., Popov A. A.** *Tasks of development of recreation zones in the conditions of the current city development.* Natural and technical sciences. 2014. No. 9-10(77). Pp. 465-467. (in Russian)
10. **Polidi T. D., Baikova T. K., Igumenov E. V.** *The development of apartment-market as the example of inefficient urban planning policy.* Property relations in the Russian Federation. 2016. No. 4(175). Pp. 60-74. (in Russian)
11. **Simankina T. L., Kibireva Yu. A., Mottaeva A. B., Gusarova M. S.** *Application of the pert method in scheduling of construction of apart-hotel for energy consumption economy.* Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 983. Pp. 138-145.
12. **Kurakin A. S.** *Legal regulation of apartments in Russia: problems and prospects.* Legal Bulletin. 2019. T. 4. No. 3. Pp. 50-56. (in Russian)
13. **Kasyanov V. F., Tabakov N. A.** *The analysis of methods and models of making optimal decisions during city sites reconstruction.* Scientific Review. 2012. No. 2. Pp. 166-171. (in Russian)
14. **Dement'eva M. E., Pedyash E. V.** *Review of the principles of design solutions justification for the reconstruction of residential development.* Scientific Review. 2017. No. 15. Pp. 24-27. (in Russian)
15. **Lapidus A., Dmitry T.** *Formation of methods for assessing the effectiveness of industrial areas' renovation projects.* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 471. Pp. 022034.
16. **Popova O., Bogacheva E.** *Analysis of the methods for assessing socio-economic development level of urban areas.* AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1800. Pp. 050015.

Received 5 June 2021

Для цитирования:

Мохов, Г. Г. Развитие городской застройки с учетом особенностей формирования рынка апартаментов / Г. Г. Мохов, М. Е. Дементьева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 65-74. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.007.

FOR CITATION:

Mokhov G. G., Dement'eva M. E. *Evolution of urban development taking into account the features of the apartment market forming.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 65-74. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.007. (in Russian)

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.008

УДК 504.75.05:625.098

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО ШУМА НА УСЛОВИЯ ПРОЖИВАНИЯ В ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ

Т. И. Прожорина, С. А. Куролап, А. С. Боева

Прожорина Татьяна Ивановна, канд. хим. наук, доцент, кафедра геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(920)414-95-49; e-mail: coriander@rambler.ru

Куролап Семен Александрович, д-р геогр. наук, профессор, кафедра геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(905)653-93-43; e-mail: skurolap@mail.ru

Боева Анастасия Сергеевна, преподаватель, кафедра геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(952)105-50-10; e-mail: nastya.boeva.82@mail.ru

В современных городах отмечается устойчивый рост автомобильного транспорта, что служит условием формирования акустического дискомфорта и причиной появления некоторых экологически обусловленных заболеваний у населения. Приведено описание методики натурных экспериментов по измерению уровня шума в городской среде в различных условиях. Проведена оценка уровня автотранспортного шума в зависимости от расстояния между первой полосой движения и жилой застройкой. Исследовано влияние шума на условия среды обитания в жилых помещениях при открытых и закрытых створках окон, а также в режиме проветривания в дневное и вечернее время суток. Установлена экспериментальная зависимость эквивалентного уровня автотранспортного шума от этажности жилых зданий.

Ключевые слова: автотранспортный шум; акустический дискомфорт; шумовая нагрузка; эквивалентный уровень шума; мониторинговая точка контроля; первая полоса движения.

Автомобильный транспорт является главным источником шума в современных крупных городах, к которым относится город Воронеж, имеющий развитую промышленно-транспортную инфраструктуру. Город с населением более 1 млн. человек является крупнейшим автотранспортным центром Черноземья с высоким уровнем автомобилизации. В настоящее время в Воронеже наблюдается устойчивый рост автомобильного транспорта, особенно частного. По сравнению с 2001 годом прирост автомобилей, в том числе и личного автотранспорта (включая автобусы, грузовые и легковые) составил: 32,2% в 2012 году, 55,8 % в 2016 году и 74,3 % в 2020 году [1].

Постоянный рост автотранспортной нагрузки создает ряд экологических проблем, связанных с воздействием автотранспортного комплекса на среду обитания и население, что определяет актуальность работы.

В Докладе «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Воронежской области в 2019 году» отмечается, что наибольшее число обращений населения с жалобами на дискомфортные условия проживания, связаны именно с повышенным уровнем автотранспортного шума (около 1600 заявлений). Это объясняется присутствием большого количества автомобилей на основных дорогах города.

Разветвленная дорожно-транспортная сеть создает повышенный уровень шумовой нагрузки, служит условием формирования акустического дискомфорта и причиной появле-

ния некоторых экологически обусловленных заболеваний у населения.

Площадь города Воронежа составляет 569 км², а общая протяженность автомобильных дорог – 1454,38 км. Неуклонный рост автомобилизации приводит к необходимости решения вопросов, связанных с оптимизацией дорожно-транспортной сети, расширением старых и строительством новых магистралей города и т.п.

В последние годы в связи с активной застройкой значительно увеличилась доля жилой зоны города. Поэтому вышеперечисленные мероприятия в большей степени затрагивают так называемые «спальные районы», в которых оживленные транспортные магистрали настолько близко примыкают к жилым зданиям, что создают зоны акустического дискомфорта для проживающего населения. Причем с каждым годом ситуация лишь ухудшается [2].

Целью исследования являлась оценка роли автотранспортного шума в формировании экологических рисков для здоровья населения, проживающего на территории крупного урбанизированного центра (на примере города Воронежа).

Оценка уровня автотранспортного шума в зависимости от расстояния между первой полосой движения и жилой застройкой.

Авторами работы были проведены инициативные исследования по выявлению зависимости уровня автотранспортного шума от расстояния между городской магистралью с интенсивным движением и жилой застройкой.

Гигиенический норматив шума, основным источником которого на территории крупного урбанизированного города является автотранспорт, можно оценить по уровню шумовой нагрузки, измеряемой в дБ (п. 1.2 ГОСТ 20444-85 «ШУМ. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики») [3].

В качестве объекта исследования была выбрана одна из основных транспортных «артерий» города – Московский проспект, которой в соответствии с «Положением о присвоении категорий, шифров и кодов улицам и автомобильным дорогам города Воронежа» от 06.04.2004 г., присвоена категория 1Б – высокая интенсивность (свыше 80 тыс. авт./сут.), характеризующаяся как непереносимо шумная и относящаяся к 6 классу шумности [4].

Измерения уровня автотранспортного шума проводились на участке дороги протяженностью 6,5 км, характеризующемся следующей структурой потока передвижных средств: легковые автомобили до 91 %, автобусы до 4 %, грузовые до 3,5 %, мотоциклы и др. техника до 1,5 %. Скорость движения транспортного потока в среднем составляла 60 км/с, автомагистраль имеет шесть полос движения.

Натурные замеры уровня транспортного шума в зависимости от расстояния между первой полосой движения проезжей части и жилой застройкой (7,5-60-100 м) проводили с помощью шумомера-анализатора модификации «Ассистент» в соответствии с нормативными требованиями ГОСТ 31296.2-2006 «Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 2».

Определение уровней звукового давления» в период с 10.05.2021 по 16.05.2021 года на 6 контрольных участках Московского проспекта в дневное время суток в будни (табл. 1). Полученные результаты сравнивали с санитарно-гигиеническим нормативом, который согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» для дневного времени суток (с 7 до 23 час) на территории жилой застройки должен составлять не более 55 дБ.

Результаты замера уровня транспортного шума, проведенные на 6 контрольных участках наиболее загруженной магистрали г. Воронежа – Московский проспект, подтверждают наличие превышения санитарно-гигиенических нормативов шумового воздействия для прилегающей жилой застройки на 14,8...21,1 дБ (при расстоянии 7,5 м), на 10,7...14 дБ (при расстоянии 60 м) и на 5,7...13,7 дБ (при расстоянии 100 м) [3].

Наиболее высокие уровни шума наблюдаются на контрольном участке № 3 по адресу Московский проспект, д. 122, что можно объяснить близостью остановки общественного

транспорта [5]. Наименьшие значения уровня шума отмечены на контрольном участке № 1, расположенный на пересечении ул. Хользунова и Московский проспект в районе «Памятника Славы», что объясняется наличием перекрестка, и, следовательно, снижением скорости автотранспорта.

Таким образом, в целом наблюдается закономерное снижение уровня шума с увеличением расстояния от дороги до жилой застройки (7,5...60...100м). Однако во всех 6 контрольных точках уровень шума, создаваемый средствами автомобильного транспорта, выше допустимого норматива (55 дБ). Это свидетельствует о том, что население в пределах исследуемого 6,5 км участка Московского проспекта, проживает в зоне акустического дискомфорта. Установленный уровень шумовой нагрузки при длительном воздействии способен оказать серьезное негативное влияние на здоровье граждан [6, 7].

Таблица 1

Результаты замеров эквивалентного уровня шума по мере
удаленности от источника автотранспортного шума

Адрес контрольного участка Московского проспекта	Среднее значение для серии замеров (время – с 10:00 до 12:00 часов утра, будни)		
	$L_{\text{ЭКВ}}$ в 7,5м от оси первой по- лосы движе- ния, дБ	$L_{\text{ЭКВ}}$ 60м от оси первой полосы движения, дБ	$L_{\text{ЭКВ}}$ в 100м от оси первой полосы движения, дБ
Пересечение ул. Хользунова и Московский проспект («Памятник Славы»)	69,8	67,2	60,7
Московский проспект, д.90 микрорайон Дубрава)	72,1	65,7	61,2
Московский проспект, д.122 (возле рынка «Воронежский»)	76,1	69,0	68,7
Московский проспект, д.149а (напротив ТСЖ «Учитель»)	72,3	65,7	61,6
Московский проспект, 151 (Областная больница)	72,5	66,3	61,1
Московский проспект, 193 (ЖК «Грин парк»)	75,1	68,0	62,5

Оценка влияния автотранспортного шума на условия среды обитания в жилых помещениях

Автотранспорт, строительные работы, пристроенные к дому магазины и кафе, являются основными источниками внешнего шума в жилых зданиях, а внутренний шум связан с работой насосов, передвигающихся лифтов, вентиляцией и другими причинами.

В последнее время основным источником акустического загрязнения в жилых микрорайонах крупных урбанизированных городов является автотранспорт. Шумы от проезжающих, заводящихся, прогреваемых автомобилей составляют более 60 % от всех посторонних звуков с улицы. Особенно, если жилой дом расположен вблизи оживленной автомагистрали, то практически невозможно добиться условий для комфортного отдыха. В ночное время суток звуки становятся более заметными и нарушают сон, в дневное время даже при отсутствии иных посторонних шумов мешают сосредоточиться, читать, слушать музыку и [8].

Чрезмерный шум негативно сказывается не только на эмоциональном состоянии человека, он может нанести вред и физическому здоровью. При 40 дБ нарушается сон, появляются головные боли, проблемы с давлением, а при 70 дБ – нарушается нервная система, и могут начать развиваться психические заболевания [1].

Применением современных шумозащитных средств в жилых домах, например, пла-

стиковых окон, за счет их герметичности и многокамерности (до 6 стекол в одном стеклопакете), можно добиться снижения внешнего шума в квартирах на 30...40 дБ.

Однако, пластиковые окна имеют как достоинства, так и недостатки. С одной стороны, герметичность существенно уменьшает уровень уличных звуков, а с другой стороны, блокирует поступление свежего воздуха в помещение. В квартире становится значительно тише, но в течение некоторого времени возникает дискомфорт, связанный с недостатком кислорода, и окна снова приходится открывать.

Опасен только постоянный шум, например, шум от автотранспорта. Кратковременный шум практически не вредит здоровью. Согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 определен уровень шума, который не вредит здоровью при длительном воздействии: для территории, прилегающей к дому, допустимый уровень шума не должен превышать 55 дБ, для жилых помещений – 40 дБ (для дневного времени суток с 7 до 23 часов). В ночное время (с 23 до 7 часов) уровень шум с улицы не должен быть выше 45 дБ, а в доме – 30 дБ.

Авторами работы были проведены инициативные исследования по оценке влияния автотранспортного шума на условия среды обитания в жилых помещениях.

В качестве объекта исследования были выбраны две мониторинговые точки контроля (МТК) по конкретным адресам, которые зарегистрированы в жилищном фонде Коминтерновского района г. Воронежа:

✓ МТК № 1 – Московский проспект, д. 90, кв. 386, расположенная на 8 этаже 10-тиэтажного крупнопанельного дома;

✓ МТК № 2 – ул. Хользунова, д. 50, ком. 210 (общежитие ВГУ), расположенная на 6 этаже 9-тиэтажного кирпичного дома).

Оба дома расположены в зоне прямого акустического воздействия, удаленность от проезжей части дороги составляет от 70 до 100 м. Зеленые посадки представлены декоративным кустарником и отдельно стоящими деревьями.

Измерения уровня шума внутри жилых помещений проводили в соответствии с ГОСТ 22337-84 «Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий» на расстоянии 1,5 м от окна и стен комнаты и высоте 1,5 м от пола.

Натурные измерения шума проводились весной 2021 года в жилых помещениях, окна которых выходят непосредственно на проезжую часть одной из самых загруженных магистралей г. Воронежа – Московский проспект (табл. 2). В обеих квартирах установлены пластиковые окна с двойными стеклопакетами. Измерения уровней звукового давления производились при открытых и закрытых створках окон, а также в режиме проветривания в дневное и вечернее время суток [5, 9].

Анализируя результаты измерений, можно сделать следующие выводы:

1) в обеих мониторинговых точках контроля наблюдаются превышения предельно-допустимого уровня (ПДУ) шума:

✓ при открытых окнах: в дневное время на 18,0...22,9 дБ (МТК №1) и на 16,1...22,0 дБ (МТК № 2) и в вечернее время – на 26,3 дБ (МТК № 1) и на 28,1 дБ (МТК № 2);

✓ при проветривании: в дневное время на 11,1...14,0 дБ (МТК №1) и на 5,0...5,8 дБ (МТК № 2) и в вечернее время – на 20,9 дБ (МТК № 1) и на 17,2 дБ (МТК. № 2);

✓ при закрытых окнах превышения ПДУ шума значительно снижаются (от 3,4 до 4,3 раза), однако уровень шума остается немного повышенным: днем на 0,9 – 1,8 дБ и вечером – на 6,1 дБ для МТК № 1 и вечером – на 5,8 дБ для МТК № 2;

2) в обеих контрольных точках уровень шума в вечернее время (при всех положениях створки окна) значительно превышает дневные показатели эквивалентного шума, что связано с излюбленным увлечением молодых воронежцев – устраивать гонки на мотоциклах по Московскому проспекту. А пластиковые окна двойного остекления не позволяют снизить эквивалентный уровень шума внутри жилых помещений до допустимых значений [5].

Таким образом, оценка влияния автотранспортного шума на условия среды обитания в жилых помещениях показала, что эквивалентные уровни шума внутри жилых помещений

превышают допустимые для квартир, ориентированных окнами на оживленную магистраль. Проживая в таких квартирах, люди испытывают вредное воздействие физических факторов среды обитания в виде повышенного шума. Превышение предельно допустимого уровня шума в квартире на протяжении длительного времени доставляет гражданам физические, психологические и эмоциональные страдания.

Таблица 2

Результаты измерений уровня эквивалентного шума
в жилых помещениях в дневное и вечернее время

Адрес мониторинговой точки	Положение створки окна	Время замера, час	Средний эквивалентный шум, дБ	Превышение ПДУ шума, дБ
Московский проспект, д. 90, кв. 386 (10-этажный дом, 8 этаж)	открыто	<i>дневное</i> с 8:00 до 8:15	58,0	18,0
		с 13:00 до 13:15	60,4	20,4
		с 17:00 до 17:15	62,9	22,9
		с 20:00 до 20:15	61,5	21,5
		<i>вечернее</i> с 23:00 до 23:15	56,3	26,3
	проветривание	<i>дневное</i> с 8:00 до 8:15	51,1	11,1
		с 13:00 до 13:15	54,0	14,0
		с 17:00 до 17:15	57,2	17,2
		с 20:00 до 20:15	53,4	13,4
Московский проспект – ул. Хользунова, д. 50, ком. 210 (общежитие ВГУ, 9-этажный дом, 6 этаж)	открыто	<i>дневное</i> с 8:00 до 8:15	37,4	-
		с 13:00 до 13:15	37,6	-
		с 17:00 до 17:15	41,8	1,8
		с 20:00 до 20:15	40,9	0,9
		<i>вечернее</i> с 23:00 до 23:15	36,1	6,1
	проветривание	<i>дневное</i> с 8:00 до 8:15	56,1	16,1
		с 13:00 до 13:15	57,2	17,2
		с 17:00 до 17:15	62,0	22,0
		с 20:00 до 20:15	58,5	18,5
	открыто	<i>вечернее</i> с 23:00 до 23:15	58,1	28,1
		<i>дневное</i> с 8:00 до 8:15	45,0	5,0
		с 13:00 до 13:15	46,6	6,6
		с 17:00 до 17:15	48,5	8,5
		с 20:00 до 20:15	47,3	7,3
		<i>вечернее</i> с 23:00 до 23:15	47,2	17,2
	закрыто	<i>дневное</i> с 8:00 до 8:15	33,7	-
		с 13:00 до 13:15	34,4	-
		с 17:00 до 17:15	37,1	-
		с 20:00 до 20:15	36,3	-
		<i>вечернее</i> с 23:00 до 23:15	35,8	5,8

Устранить источники внешнего шума в жилом помещении довольно сложно, так как перераспределение транспортных потоков в сложившейся застройке практически невозможно. Вариантом решения проблемы может стать реализация проектов по возведению шумопоглощающих экранов, или компенсация населению расходов на установку шумоизолирующих стеклопакетов.

Но и в этом случае жилище периодически необходимо проветривать, причем, открывая окна, жители вновь сталкиваются с проблемой повышенного уровня шума. Одним из способов решения этой проблемы является установка в квартире специализированного устройства для локальной очистки воздуха – «бризера». Это компактный прибор, который забирает воздух с улицы, фильтрует и подогревает его до комфортной температуры, тем самым поддерживает свежий воздух в жилом помещении даже при закрытых окнах [10].

*Оценка влияния этажности жилых зданий в формировании
уровня автотранспортного шума*

В настоящее время на территории крупных промышленных городов, особенно в условиях плотной жилой застройки, до 80% от всех внешних источников шума приходится на автотранспортный. Многие автомагистрали проходят в непосредственной близости от жилой застройки, вследствие чего уровни шума на ее территории превышают гигиенические нормативы на 5...30 дБ. Доля населения, проживающего в условиях акустического дискомфорта, колеблется от 20 до 60 %, в зависимости от величины города [2].

Авторами работы были проведены инициативные исследования по оценке влияния этажности жилых зданий в формировании уровня автотранспортного шума.

В качестве объекта исследования были выбраны 3 жилых многоэтажных дома, фасадом обращенные к проезжей части дороги, и расположенные на территории селитебной зоны Центрального района г. Воронежа по следующим адресам:

- ✓ Московский проспект, 124 (МТК № 1);
- ✓ ул. Шишкова, 95а (МТК № 2);
- ✓ ул. Шишкова, 107а (МТК № 3).

Натурные замеры дневного эквивалентного уровня шума проводились в час «пик» в интервале от 8:30 до 10:30 час. В зоне влияния автомобильных дорог с различной интенсивностью движения транспортных средств, а также при различном количестве автомобильных полос (табл. 3). Измерения проведены на различном удалении от автомобильных дорог (7,5 м, 44 м, 60 м) и различных высотах (на 1, 3, 6, 9, 12, 15 этажах зданий) в соответствии с требованиями МУК 4.3.2194-07 «Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях».

Таблица 3

Результаты измерений эквивалентного уровня автотранспортного шума на различном
удалении от первой полосы движения до жилого дома

№ МТК	Адрес мониторинговой точки	Количество этажей	Количество полос движения	Интенсивность движения автомобильного транспорта, авт./час	Расстояние от источника шума, м	Эквивалентный уровень шума, дБ
1	Московский проспект, д. 124	15	6	7000	7,5 60	77,6 69,0
2	ул. Шишкова, 95а	17	4	4000	7,5 44	70,9 62,2
3	ул. Шишкова, 107а	17	4	4000	7,5 44	73,9 64,5

Анализ результатов натурных измерений показал, что при отсутствии преград движение автомобильного транспорта создает сверхнормативную акустическую нагрузку в дневное время для прилегающей жилой застройки на 15,9...22,6 дБ (при расстоянии 7,5 м) и на 7,2...14 дБ (при расстоянии 44...60 м).

Исследования влияния этажности жилых зданий в формировании уровня автотранспортного шума проводили с интервалом в 3 этажа (1, 3, 6, 9, 12, 15 этажи) с выходом на балкон дома. Микрофон от шумомера фиксировали на штанге и на расстоянии 2 м от фасада здания проводили замеры эквивалентного шума.

Логично предположить, что по мере удаления от дороги с повышением этажности дома, уровень шума будет снижаться. Однако, это мнение ошибочно, так как распространение звуковой волны зависит от многих причин, доминирующими из которых являются: наличие озеленения вокруг дома, жилых домов напротив, визуальный охват дорожно-транспортной развязки из окна, наличие домов напротив и др.

Если на придомовой территории имеется зеленая зона (деревья, кустарники, газоны), то шум от автотрассы на нижних этажах будет меньше, чем на верхних. Это связано с тем, что мягкие поверхности, например, зеленая трава, больше поглощают звуковую волну, чем жесткие, например, асфальт [11].

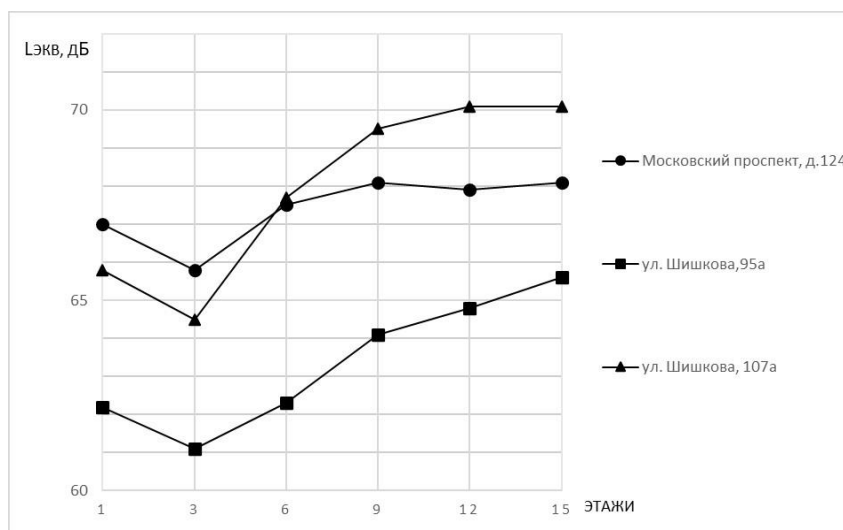
На распространение шумовых нагрузок по вертикали также оказывает влияние зрительный охват дорожной сетки из окна и дома, расположенные напротив. Например, чем выше этаж, тем больше угол обзора дороги, но при этом и уровень доносящегося автотранспортного шума на верхних этажах будет больше. Также следует учесть, что в случае наличия дома напротив, отраженная звуковая волна практически полностью сохраняет свою энергию, суммируется с прямым звуком и уровень шума будет снова сильнее на верхних этажах.

Результаты измерений уровня автотранспортного шума в зависимости от этажности жилого дома, приведенные на рисунке, позволили сделать следующие выводы.

1) на первом этаже в мониторинговой точке № 1 уровень шума изначально на 14 дБ выше, чем в МТК № 2 и № 3, что объясняется наибольшей интенсивностью движения автомобильного транспорта на Московском проспекте.

2) в связи с наличием зеленых насаждений перед жилыми домами с 1 по 3 этажи наблюдается эффект акустического сопротивления поверхности, в результате чего происходит незначительное снижение уровня шума на 1,1...1,3 дБ.

3) отраженная звуковая волна от расположенных напротив соседних домов усиливает влияние звука с 3 по 9...12 этажи, в результате чего уровень шума возрастает примерно на 2,3...5,6 дБ, а далее от этажности он уже практически не зависит.



Зависимость эквивалентного уровня автотранспортного шума от этажности жилых зданий

Заключение.

На основании проведенных натурных замеров установлено, что, по мере удаленности от дорожного полотна, уровень автотранспортного шума снижается, однако превышает санитарно-гигиенические нормативы шумового воздействия для прилегающей жилой застройки.

Превышения предельно-допустимого уровня шума в квартирах жилых помещений зафиксированы как в дневное, так и вечернее время при любом положении створок окна (открыто, проветривание, закрыто).

Установлено, что зависимость уровня автотранспортного шума от этажности жилого дома носит неравномерный характер и на верхних этажах ощущается больше, чем на нижних.

Полученные авторами зависимости изменения уровней автотранспортного шума при различной интенсивности движения автомобилей на различном удалении от проезжей дороги и этажности жилых зданий могут быть использованы для экспресс-анализа при проведении экспертизы проектной документации, регламентирующей размеры зон санитарного разрыва от автомобильных дорог в условиях высотной застройки.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке
Российского научного фонда, проект №20-17-00172*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Куrolап, С. А.** Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска / С. А. Куролап, С. А. Епринцев, О. В. Клепиков. – Воронеж: Изд-во «Истоки», 2010. – 207 с.
2. **Леванчук, А. В.** Гигиеническая оценка шума автомобильного транспорта в зависимости от расстояния и высоты от источника шума / А. В. Леванчук, Д. Е. Курепин // Интернет-журнал «Науковедение» 2014. – № 6. – <http://naukovedenie.ru/PDF/21TVN614.pdf> (дата обращения 15.04.2021).
3. **Долгова, А. Д.** Некоторые аспекты усовершенствования системы вентиляции гальванических предприятий / А. Д. Долгова // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 186-187.
4. **Минина, Н. Н.** Классификация автомобильных дорог по шуму и расчет шума автотранспорта / Н. Н. Минина // Известия Самарского научного центра РАН: Энергетика. Механика. Машиностроение. – 2012. – Т. 14. – № 1(3). – С. 909-912.
5. **Терентьева, Л. С.** Геоэкологическая оценка акустического загрязнения при магистральных территориях (на примере г. Воронежа): автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук (25.00.36) / Терентьева Любовь Сергеевна; Воронежский госпедуниверситет. – Воронеж, 2008. – 22 с.
6. **Прожорина, Т. И.** Оценка риска здоровью населения г. Воронеж от воздействия транспортного шума / Т. И. Прожорина, С. А. Куролап, Н. П. Мамчик, О. В. Клепиков, Н. В. Каверина // Естественные технич. науки. – 2020. – № 9. – С. 126-133.
7. **Мамчик, Н. П.** Эколого-гигиенические основы мониторинга и охраны городской среды / Н. П. Мамчик, С. А. Куролап, О. В. Клепиков. – Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 2002. – 332 с.
8. **Германова, Т. В.** Транспортный шум в городе / Т. В. Германова, И. И. Перцева, Л. С. Саитова // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 186-189.
9. **Леденев, В. И.** Метод оценки шумового режима квартир / В. И. Леденев, А. Ю. Воронков, А. Е. Жданов // Жилищное строительство. – 2004. – № 11. – С. 15-17.

10. **Андряшкин, О. О.** Сравнение технико-экономических показателей локальных устройств для очистки приточного воздуха / О. О. Андряшкин, О. А. Жданова, М. С. Кононова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 1(4). – С. 104-110.

11. **Коростелева, Н. В.** Оценка шумового режима при магистральных территориях г. Волгограда и разработка рекомендаций по созданию оптимальных условий проживания населения / Н. В. Коростелева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2011. – № 23. – С. 168-172.

Поступила в редакцию 21 мая 2021

ASSESSMENT OF THE ROAD NOISE IMPACT ON THE LIVING CONDITIONS IN URBAN AREAS

T. I. Prozhorina, S. A. Kurolap, A. S. Boeva

Prozhorina Tatyana Ivanovna, Cand. Sc. (Chemistry), Associate Professor, Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia, phone: +7(920)414-95-49; e-mail: coriander@rambler.ru

Semyon Kurolap, Dr. Sc. (Geography), Professor, Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia, phone: +7(905)653-93-43; e-mail: skurolap@mail.ru

Boeva Anastasia Sergeevna, Lecturer, Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia, phone: +7(952)105-50-10; e-mail: nastya.boeva.82@mail.ru

In modern cities there is a steady growth of road transport, which serves as a condition for formation of the acoustic discomfort that leads to the emergence of some environmentally caused diseases. The article describes the methodology of field experiments for measuring noise level in an urban environment under various conditions. The level of motor vehicle noise was assessed depending on the distance between the first traffic lane and residential buildings. The influence of noise on the living environment conditions in residential premises with open and closed windows, as well as in the mode of ventilation both in the day and evening time. As well we established the experimental dependence of the equivalent level of motor vehicle noise on the number of floors of residential buildings.

Keywords: motor vehicle noise; acoustic discomfort; increased noise load; equivalent noise level; monitoring control point; first traffic lane.

REFERENCES

1. **Kurolap S. A., Yeprintsev S. A., Klepikov O. V.** *Voronezh: habitat and ecological risk zones.* Voronezh, Istoki Publishing House. 2010. 207 p. (in Russian)

2. **Levanchuk A. V., Kurepin D. E.** *Hygienic assessment of the noise of road transport depending on the distance and height from the noise source.* Online journal Naukovedenie. 2014. No. 6. <http://naukovedenie.ru/PDF/21TVN614.pdf> (accessed 15.04.2021). (in Russian)

3. **Dolgorova A. D.** *Some aspects of improving the ventilation system of galvanic enterprises / Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya.* 2012. No. 6. Pp. 186-187. (in Russian)

4. **Minina N. N.** *Classification of highways by noise and calculation of noise of automobile transport.* Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering. Mehanika. Mechanical engineering. 2012. Vol. 14. No. 1(3). Pp. 909-912. (in Russian)

5. **Terentyeva L. S.** *Geoecological assessment of acoustic pollution of the primag-stral territories (on the example of the city of Voronezh):* autoref. dis. on the screen. learned. step. candidate

of Geographical Sciences (25.00.36) / Terentyeva Lyubov Sergeevna; Voronezh State University. Voronezh, 2008. 22 p. (in Russian)

6. **Prozhorina T. I., Kurolap S. A., Mamchik N. P., Klepikov O. V., Kaverina N. V.** *Assessment of the risk to the health of the population of Voronezh from the impact of transport noise*. Natural technical sciences. 2020. No. 9. Pp. 126-133. (in Russian)

7. **Mamchik N. P., Kurolap S. A., Klepikov O. V.** *Ecological and hygienic bases of monitoring and protection of the urban environment*. Voronezh, Voronezh State University Press. 2002. 332 p. (in Russian)

8. **Germanova T. V., Pertseva I. I., Saitova L. S.** *Transport noise in the city*. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2012. No. 6. Pp. 186-189. (in Russian)

9. **Ledenev V. I., Vorrunkov Yu., Zhdanov A. E.** *Method for assessing the noise regime of apartments*. Housing construction. 2004. No. 11. Pp. 15-17. (in Russian)

10. **Andriyashkin O. O., Zhdanova O. A., Kononova M. S.** *The comparison of technical and economic parameters of local devices for clearing of inlet air*. Housing and utilities infrastructure. 2018. No. 1(4). Pp. 104-110. (in Russian)

11. **Korosteleva N. V.** *Assessment of the noise regime of the main-line territories of Volgograd and development of recommendations for creating optimal living conditions for the population*. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Ser.: Construction and Architecture. 2011. No. 23. Pp. 168-172. (in Russian)

Received 21 May 2021

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Прожорина, Т. И. Оценка влияния автотранспортного шума на условия проживания в городской застройке / Т. И. Прожорина, С. А. Куrolap, А. С. Боева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 75-84. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.008.

FOR CITATION:

Prozhorina T. I., Kurolap S. A., Boeva A. S. *Assessment of the road noise impact on the living conditions in urban areas*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 75-84. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.008. (in Russian)

**ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЕ ХОЗЯЙСТВО
И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

**ROAD TRANSPORT, AGRICULTURE
AND CONSTRUCTION MACHINES**

DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.009

УДК 625.85

**ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ
СМЕСЕЙ ДЛЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ
С ДОБАВКАМИ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА**

А. Б. Соломенцев, Режист Моиз, Жозеф Швендески Маселюс

Соломенцев Александр Борисович, канд. техн. наук, доцент кафедры проектирования городской среды, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», Орел, Российская Федерация, тел.: +7(910)748-17-58; e-mail: absolomentsev@mail.ru

Режист Моиз, студент Архитектурно-строительного института, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», Орел, Российская Федерация, тел.: +7(953)625-37-61; e-mail: regis-moise26@gmail.com

Жозеф Швендески Маселюс, студент Архитектурно-строительного института, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», Орел, Российская Федерация, тел.: +7(953)812-18-51; e-mail: joseph.shwendeski@yahoo.com

Получены значения динамической вязкости битумного вяжущего с добавками низкомолекулярного полиэтилена в температурном интервале 60...160 °С. При введении полимерных добавок в дорожный битум вязкость битума повышается. Наиболее высокие значения динамической вязкости наблюдаются у полимерной добавки Вискодор – ПВ1, это ярко выражено при расходе 4 % добавки от массы битума и при температурах ниже 130°С. Добавка неокисленного низкомолекулярного полиэтилена Honeyvell Titan 7205 увеличивает вязкость в большей степени, чем добавка окисленного полиэтилена Honeyvell Titan 7686. Определены допустимые технологические температуры асфальтобетонных смесей с полимерными добавками на этапах структурообразования асфальтобетона.

Ключевые слова: добавки низкомолекулярного полиэтилена; термоэластопласты (ТЭП); добавки для теплого асфальтобетона; допустимые технологические температуры асфальтобетонных смесей; динамическая вязкость битумного вяжущего.

Для дорожных асфальтобетонных покрытий улично-дорожной сети городских агломераций отличительной особенностью является высокая динамическая нагрузка на покрытие, высокий износ поверхности покрытия из-за большой интенсивности движения и особенностей городского режима движения, работа покрытия в режиме сочетания действия нагрузок и обводнения покрытия в теплый период, а в холодный период – воздействие противогололедных реагентов. Эти особенности работы дорожных асфальтобетонных покрытий предъявляют повышенные требования к битумному вяжущему в асфальтобетоне и асфальтобетонных смесях. С целью повышения качества битумного вяжущего в него вводят различные добавки, в том числе и полимерные [1].

Оценка технологических параметров битумного вяжущего и асфальтобетонных смесей с добавками низкомолекулярного полиэтилена (динамической вязкости, технологических температур) позволит правильно выбирать дозировки добавок и производить устройство асфальтобетонных покрытий улично-дорожной сети при требуемых технологических параметрах.

© Соломенцев А. Б., Режист Моиз, Жозеф Швендески Маселюс, 2021

Проведенными исследованиями установлено [1], что при добавлении термоэластопластов в битумное вяжущее увеличивается его динамическая вязкость, а также технологические температуры приготовления и уплотнения асфальтобетонной смеси. При оценке эффективности добавок для теплого асфальтобетона установлено [2], что введение 1,5 % добавки окисленного низкомолекулярного полиэтилена Honeyvell Titan 7686 в битумное вяжущее позволяет улучшить уплотняемость асфальтовяжущего при 50 °С, при этом снижается почти вдвое водонасыщение образцов асфальтовяжущего. Honeyvell Titan 7686 относится к высокоэффективным адгезионным добавкам и при расходе от 0,8 до 2,0 % от массы битума в битумном вяжущем показатель сцепления битумного вяжущего с поверхностью кислой породы по ГОСТ 11508 – 74 колеблется между образцом № 1 и № 2, ближе к образцу №1 [3].

Для исследования использовалась добавка Honeywell Titan 7686, которая производится компанией Honeywell (США) и представляет собой окисленный полиэтилен низкого давления с молекулярной массой 5000...15000, внешний вид – порошок средней крупности белого цвета, температура размягчения – 115...140 °С, плотность – 0,9 г/см³, кислотное число – 25 мгКОН/г (здесь и далее сведения о добавках приводятся из информационных материалов и презентаций компаний-производителей), а также добавка неокисленного низкомолекулярного полиэтилена этого же производителя Honeyvell Titan 7205. Исследовалась также multifunctional полимерная добавка Вискодор – ПВ1, представляющая собой многокомпонентную композицию на основе модифицированного низкомолекулярного полиэтиленового воска в виде гранул от светлокорицевого до черного цвета. Плотность добавки Вискодор – ПВ1 составляет от 0,9 до 1,10 г/см³, увеличение температуры размягчения битума с 3 % добавки должно быть не менее 40 %. Производитель – ООО «Селена» г. Шебекино, Белгородской области.

Для сравнения использовались полученные данные по динамической вязкости и технологическим температурам для полимерно – битумного вяжущего с использованием термоэластопластов марки СБС Л 30-01А, которые выпускаются в настоящее время компанией «СИБУР» на предприятии АО «Воронежсинтезкаучук». По внешнему виду они представляют собой гранулы белого цвета, не имеющие запаха, и являются продуктами блоксополимеризации бутадиена и стирола в растворе углеводородов в присутствии литийорганического инициатора. Содержание связанного стирола в полимерной части термоэластопластов составляет 30 %, плотность при 20°С составляет 0,95 г/см³, вязкость раствора в толуоле при 25 °С – 13 сП. В добавке СБС Л 30-01А массовая доля основного компонента – сополимер стирола с 1,3 бутадиеном составляет 98,75.

Полимерные добавки вводились в битум нефтяной дорожный вязкий производства АО «Газпромнефть-Московский НПЗ» марки БНД 60/90 по ГОСТ 22245-90. Расход полимерных добавок в битуме составлял 2 и 4 % от массы битума. Добавка Honeyvell Titan 7686 расплавлялась в битуме до образования однородной массы при температуре 160°С в течение 40...60 минут, добавка Honeyvell Titan 7205 расплавлялась при 180 °С в течение 90 – 135, а добавка Вискодор – ПВ1 расплавлялась при 170°С в течение 30...45 минут. Определялся показатель сцепления битумного вяжущего с полимерными добавками по ГОСТ 11508-74. Отличное сцепление при расходе 2 % (образец № 1) и хорошее (образец № 2) при расходе 4 % в битуме показывает вяжущее с добавкой Honeywell Titan 7686, вяжущие с другими добавками показывают плохое сцепление (образец № 3) с поверхностью минерального материала.

Динамическая вязкость битума с добавками определялась при различных температурах и расходах добавок с помощью ротационного вискозиметра Brookfield RVDV-II-PR. Технология проведения измерений подробно описана в работе [1].

Для получения смеси битума с полимерной добавкой образец битума БНД 60/90 массой 200г нагревали до температуры 160...180 °С и однородного жидкого состояния. Затем

вводилась полимерная добавка в количестве 2 или 4 % от массы битума, проводилось тщательное перемешивание битума с добавкой при помощи лабораторной мешалки МЛ-2-01 в течении 30-50 минут до полного растворения добавки. Температура, показатель сцепления с поверхностью кислого минерального материала и время растворения полимерных добавок в битуме приведено в табл. 1. Из табл. 1 видно, что наиболее легко растворяется в битуме добавка Honeywell Titan 7686, сцепление битумного вяжущего при 2 % добавки в битуме с поверхностью каменного материала отличное, т.е. добавка работает как адгезионная. Все остальные добавки не улучшают сцепление битума с минеральными материалами.

Таблица 1

Температура, время растворения и сцепление полимерных добавок
в битуме БНД 60/90

Название добавки или ее марка	Количество добавки в битуме, %	Температура растворения, °С	Продолжительность растворения добавки в битуме, минуты	Показатель сцепления, соответствие контрольному образцу по ГОСТ 11508-74
Honeywell Titan 7686	2	160±5	40...45	Образец № 1
	4	160±5	60	Образец № 2
Honeywell Titan 7205	2	180±5	90	Образец № 3
	4	180±5	135	Образец № 3
Вискодор - ПВ1	2	170±5	30	Образец № 3
	4	170±5	45	Образец № 3
СБС Л 30-01А	4	190	46	Образец № 3

После стабилизации значения температуры образец битума с добавками в камере термометрики термостатировался в течении 30 минут. После этого, проводилось измерение динамической вязкости при различных скоростях сдвига. Значения динамической вязкости битума БНД60/90 с полимерными добавками представлены в табл. 2, где приведены значения динамической вязкости исходного дорожного битума без добавок, а также полимерно-битумного вяжущего на основе термоэластопластов СБС Л 30-01А.

Ранее были установлены диапазоны допустимых значений динамической вязкости дорожного битума в производственных условиях при технологических температурах приготовления и уплотнения асфальтобетонных смесей, что позволило предложить методику определения допустимых технологических температур асфальтобетонных смесей [4]. В нижеприведенных исследованиях использовали следующие значения динамической вязкости битумного вяжущего для технологических этапов:

- ✓ приготовление асфальтобетонной смеси – менее 0,3 Па·с;
- ✓ начало уплотнения асфальтобетонной смеси – 0,3...1,5 Па·с;
- ✓ окончание уплотнения асфальтобетонной смеси – 20...120 Па·с.

Приведенные интервалы использовались для определения технологических температур дорожного битума с добавками низкомолекулярного полиэтилена и других полимерных добавок.

Средние значения динамической вязкости битумного вяжущего с полимерными добавками в интервале температур 60...160°С приведены в табл. 2, а зависимости динамической вязкости битумного вяжущего с полимерными добавками от температуры приведены на рис. 1, 2 в виде диаграмм.

Из табл. 2 и рис. 1 видно, что на этапе приготовления асфальтобетонной смеси при 150 °С и введении 4 % добавки Вискодор-ПВ1 динамическая вязкость битумного вяжущего увеличивается в 6 раз по сравнению с битумом без добавок, как и для термоэластопластов

марки СБС Л 30-01А, при 4 % добавки Honeyvell Titan 7205 вязкость вяжущего увеличивается в 2 раза, при 4 % добавки Honeyvell Titan 7686 вязкость вяжущего увеличивается в 1,7 раза.

Из табл. 2 видно, что на этапе начала уплотнения асфальтобетонной смеси при температуре 120 °С и введении 4 % добавки Вискодор-ПВ1 динамическая вязкость битумного вяжущего увеличивается в 31 раз по сравнению с битумом без добавки, в то время как введение 4 % добавки термоэластопластов марки СБС Л 30-01А увеличивает вязкость вяжущего в 11,6 раза, при 4 % добавки Honeyvell Titan 7205 вязкость битумного вяжущего увеличивается в 14,3 раза, а при 4 % добавки Honeyvell Titan 7686 вязкость увеличивается в 9,3 раза.

Таблица 2

Средние значения динамической вязкости дорожного битума БНД 60/90 с добавками

Название добавки	Расход добавки в битуме, % массы в битуме	Значения динамической вязкости, Па·с, при температуре, °С										
		60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Без добавки	-	248,8	63,2	19,08	7,45	2,72	1,41	0,75	0,43	0,26	0,17	0,11
Honeyvell Titan 7686	2	867,50	252,12	83,59	19,31	12,61	2,23	1,13	0,58	0,34	0,21	0,14
	4	1077,52	359,75	138	62,10	30,87	8,45	1,31	0,76	0,48	0,29	0,18
Honeyvell Titan 7205	2	1050,25	230	93,15	33,27	5,90	2,58	1,21	0,64	0,37	0,23	0,15
	4	-	948,0	250,87	106,77	36,4	14,5	7,0	2,9	0,68	0,35	0,20
Вискодор –ПВ1	2	2780	593	122,50	41,27	10,64	5,39	2,16	0,99	0,53	0,31	0,19
	4	-	-	-	1845	447,57	83,41	23,38	6,97	2,45	1,03	0,51
СБС Л 30-01 А	4	-	922,25	254,43	85,11	37,11	15,67	8,73	4,57	2,08	1,09	0,64

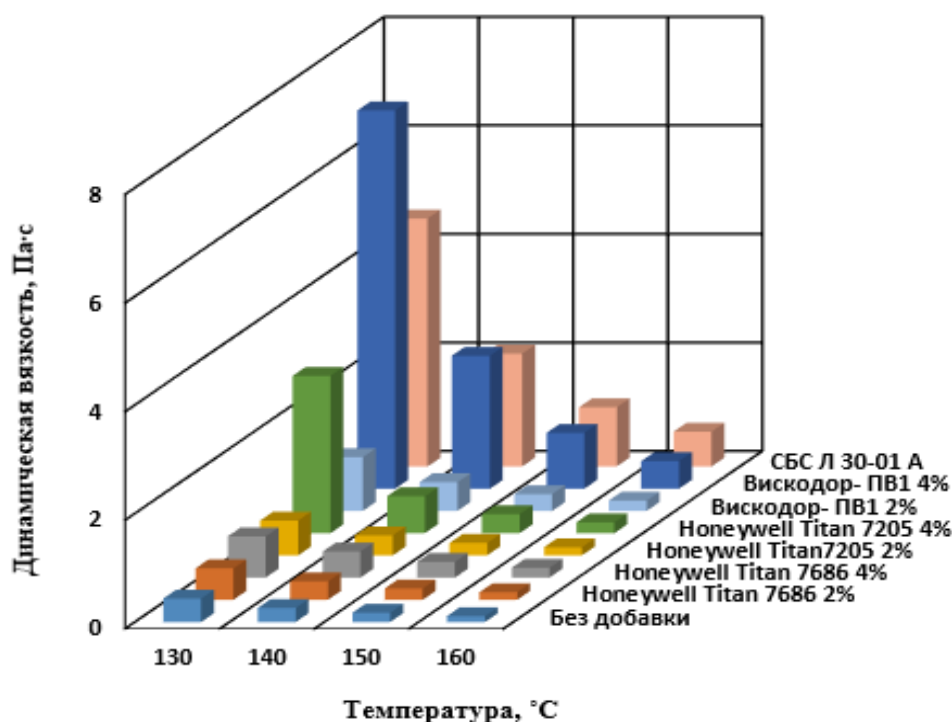


Рис. 1. Зависимость динамической вязкости битума с полимерными добавками от температуры на этапе приготовления асфальтобетонной смеси

Из табл. 2 и рис. 2 видно, что на этапе окончания уплотнения асфальтобетонной смеси при температуре 90 °С и введении 4 % добавки Вискодор-ПВ1 наблюдается лавинообразное

увеличение динамической вязкости битумного вяжущего в 248 раз по сравнению с битумом без добавок, в то время как введение 4 % добавки темоэластопластов марки СБС Л 30-01 А увеличивает вязкость вяжущего в 11,2 раза, при 4 % добавки Honeyvell Titan 7205 вязкость вяжущего увеличивается в 14,3 раза, а при 4 % добавки Honeyvell Titan 7686 вязкость увеличивается в 8,3 раза.

Анализируя реологическое поведение битума с добавками, следует отметить, что наиболее вязким является битумное вяжущее с модификатором битума Вискодор-ПВ1, как при расходе добавки 2 %, так и 4 % от массы битума. По-видимому, в многокомпонентной добавке Вискодор-ПВ1 присутствуют компоненты, которые при понижении температуры ниже 100 °С начинают формировать кристаллические жесткие структуры, что приводит к увеличению динамической вязкости битумного вяжущего. Если при расходе добавки Вискодор-ПВ1 2% от массы битума среднее значение динамической вязкости битумного вяжущего при 90 °С составляет 41,27 Па·с, то при расходе 4 % среднее значение динамической вязкости увеличилось в 45 раз и составило 1845 Па·с (табл. 2).

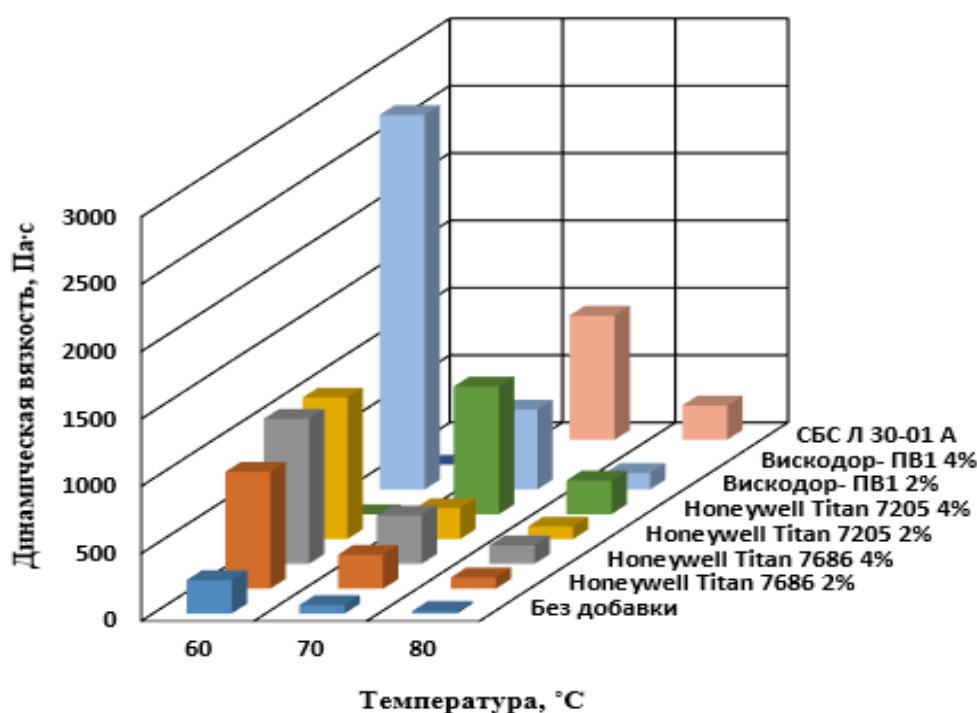


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости битума с добавками от температуры на этапе окончания уплотнения асфальтобетонной смеси

Следует отметить также неустойчивость режимов изменения динамической вязкости битумного вяжущего с добавкой Honeyvell Titan 7205 при расходе 4 % от массы битума при температуре 110, 120 и 130 °С, что выражалось в постоянных колебаниях значений динамической вязкости при постоянной скорости вращения шпинделя. Это явление можно объяснить образованием в битумном вяжущем при рассматриваемых температурах локальных неоднородностей добавки Honeyvell Titan 7205 с повышенной вязкостью, что и приводило при сдвиговом деформировании слоя битумного вяжущего к неустойчивости значений динамической вязкости.

Влияние окисления низкомолекулярного полиэтилена с образованием в нем и в добавке Honeyvell Titan 7686 полярных кислородсодержащих карбоксильных групп [5] выражается не только в повышении адгезионных свойств битумного вяжущего, но и в снижении средних значений динамической вязкости по сравнению с неокисленным низкомолекулярным полиэтиленом Honeyvell Titan 7205. Так, при температуре 90 °С и

расходе добавок Honeyvell Titan 4 % от массы битума среднее значение динамической вязкости с Honeyvell Titan 7205 составляет 106,77 Па·с, что в 1,7 раза выше, чем для битумного вяжущего с Honeyvell Titan 7686. Полиэтилен можно окислить с понижением его молекулярной массы. В процессе термоокислительной деструкции происходит уменьшение молекулярной массы полиэтилена высокого давления и в нем накапливаются кислородсодержащие группы, существенно изменяющие его свойства [6]. Возможно, подобным образом получают добавку Honeywell Titan 7686. При распределении в битуме добавки происходит ее расплавление и растворение в масляных компонентах битума. Макромолекулы, содержащие поверхностно-активные кислородсодержащие соединения, в частности, карбоксильную группу, будут взаимодействовать со сложными структурными единицами в битуме [7], образуя ассоциаты. Часть макромолекул, распределенная в углеводородной среде, будет взаимодействовать со смолами битума, а часть фиксироваться в углеводородной среде [8].

Результаты определения допустимых технологических температур приведены в табл. 3 и на рис. 3...7.

Таблица 3

Допустимые технологические температуры битума БНД 60/90 с полимерными добавками на этапах структурообразования асфальтобетона

Наименование	Допустимые технологические температуры, °С, на этапах, при расходе добавок, % от массы битума					
	Приготовление		Начало уплотнения		Окончание уплотнения	
	2	4	2	4	2	4
Битум БНД60/90	150...160		120...140		70...80	
Honeywell Titan 7686	143...160	147...160	120...149	148...160	80...89	82...105
Honeywell Titan 7205	144...160	151...160	120...151	142...160	80...98	91...106
СБС Л30-01 А	>160		144...160		87...107	
Вискодор -ПВ1	151...160	>160	125...157	145...160	80...91	108...110

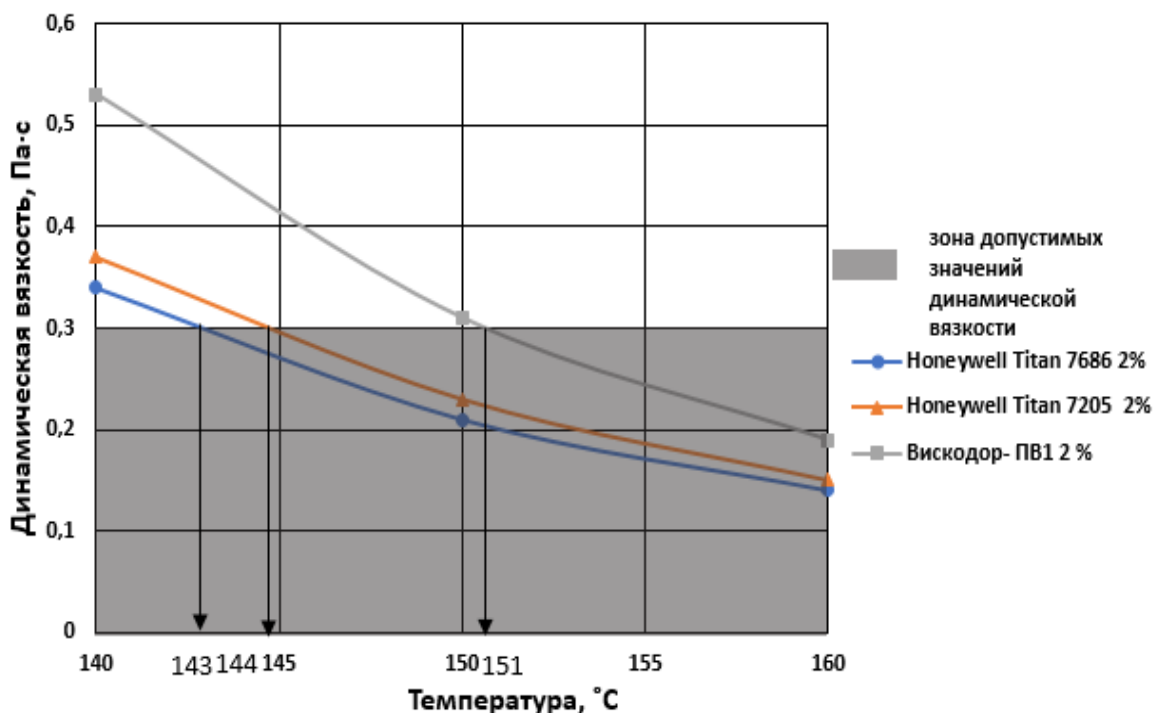


Рис. 3. Допустимые технологические температуры битумного вяжущего с добавкам на этапе приготовления асфальтобетонной смеси при их расходе 2 % от массы битума

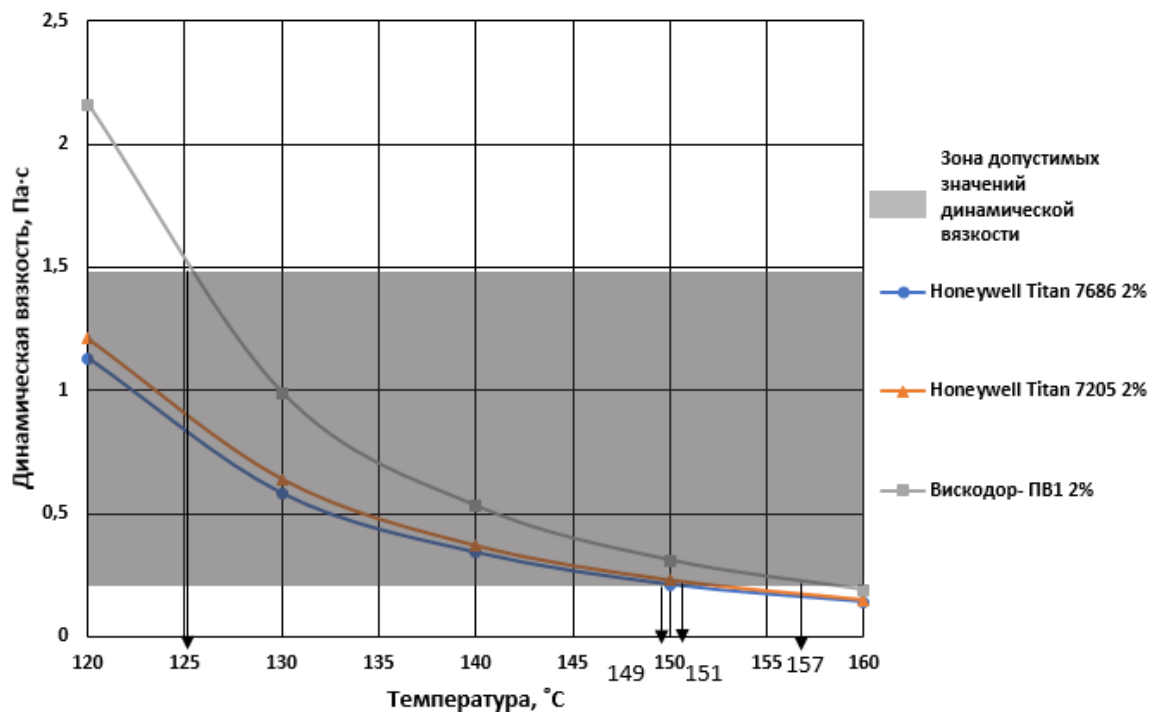


Рис. 4. Допустимые технологические температуры битумного вяжущего с добавками на этапе начала уплотнения асфальтобетонной смеси при их расходе 2 % от массы битума

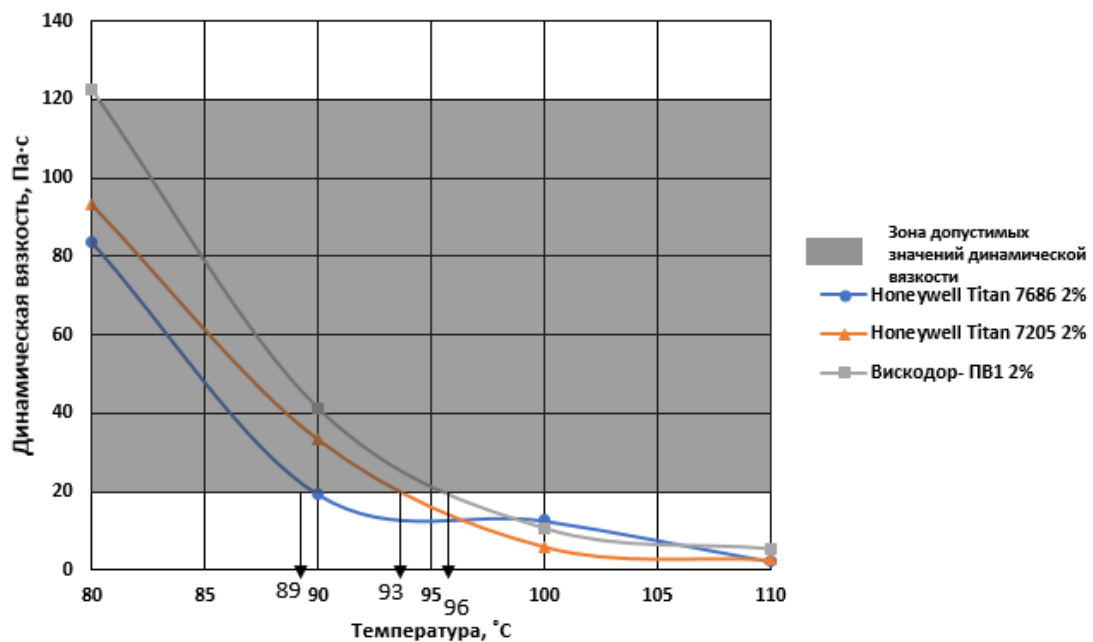


Рис. 5. Допустимые технологические температуры битумного вяжущего с добавками на этапе окончания уплотнения асфальтобетонной смеси при их расходе 2 % от массы битума

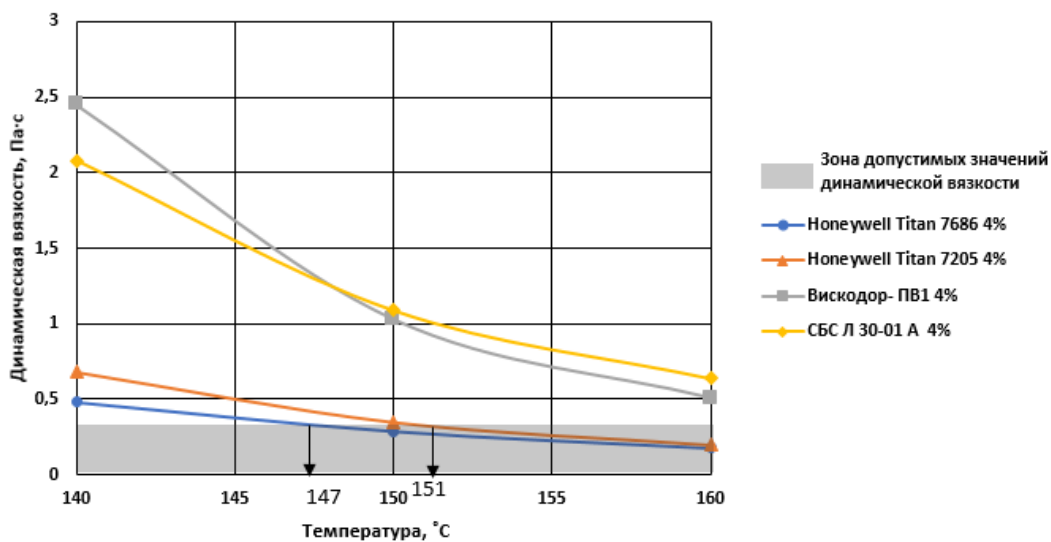


Рис. 6. Допустимые технологические температуры битумного вяжущего с добавками на этапе приготовления асфальтобетонной смеси при их расходе 4 % от массы битума

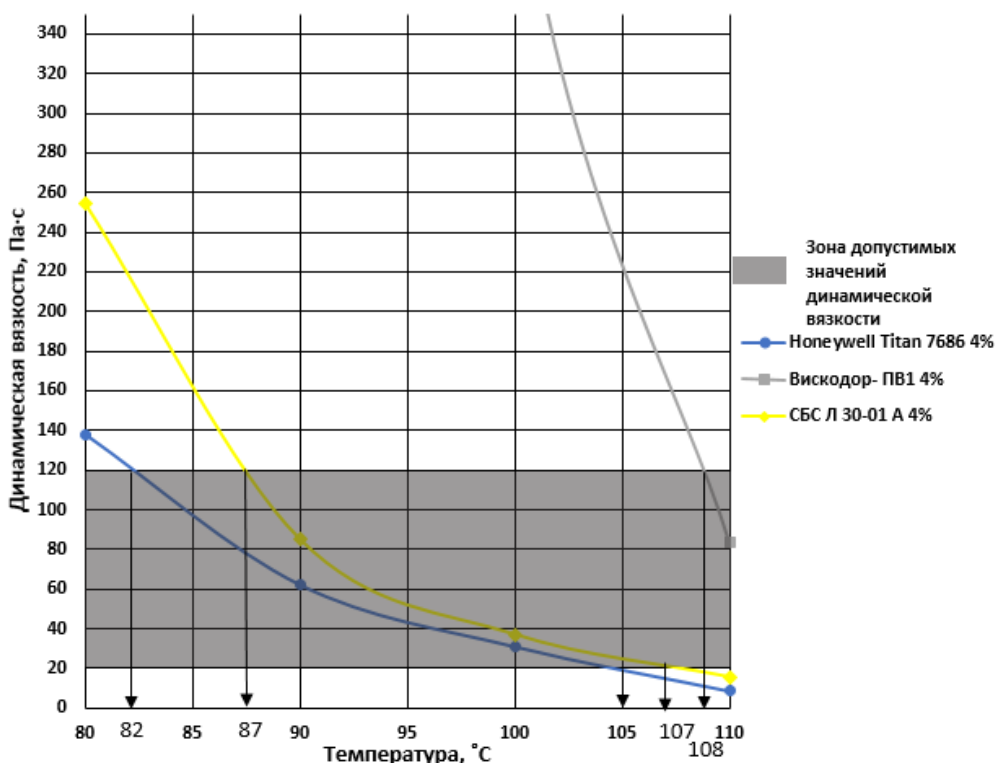


Рис. 7. Допустимые технологические температуры битумного вяжущего с добавками на этапе окончания уплотнения асфальтобетонной смеси при их расходе 4 % от массы битума

Из табл. 3 и рис. 3 и 6 следует, что на этапе приготовления асфальтобетонной смеси при расходе добавок 2 % интервал допустимых температур для битумного вяжущего с добавкой Honeyvell Titan 7686 и 7205 шире, чем для битума без добавок. При расходе добавок 4 % от массы битума для битумного вяжущего с Honeyvell Titan 7686 технологические температуры не превышают допустимые, а для битумного вяжущего с добавками Honeyvell Titan 7205, Вискодор-ПВ1, а также с добавкой термоэластопластов СБС Л 30-01-А технологические температуры выше 160 °C, т. е. выше чем допустимые технологические температуры.

На этапе начала уплотнения (табл. 3 и рис. 4) при расходе добавок Honeywell Titan 7686 и 7205 2 % от массы битума верхний предел допустимой температуры уплотнения асфальтобетонной смеси повышается на 10 °С. Для битумного вяжущего с добавкой Вискодор-ПВ1 при ее расходе 2 % нижний предел допустимых температур повысился на 5 °С, а верхний – на 17 °С. При расходе добавок 4 % от массы битума нижний и верхний предел допустимых технологических температур начала уплотнения асфальтобетонных смесей повышается на 20...28 °С.

На этапе окончания уплотнения (табл. 3, рис. 5 и 7) при расходе добавок 2 % от массы битума интервал допустимых технологических температур смещается при использовании добавок Honeywell Titan 7686 и 7205, Вискодор-ПВ1 на 10 °С в сторону более высоких температур. При расходе добавок 4 % от массы битума нижний предел допустимых температур увеличивается на 12...21 °С для битумного вяжущего с добавками Honeywell Titan 7686 и 7205, а для битумного вяжущего с добавкой Вискодор-ПВ1 – на 38 °С. Верхний предел допустимых температур уплотнения увеличивается на 25...30 °С для битумного вяжущего с добавками Honeywell Titan и на 30 °С для битумного вяжущего с добавкой Вискодор-ПВ1.

Следует отметить, на формирование структуры полимернобитумной прослойки будут также оказывать влияние активные поверхностные центры минеральных компонентов асфальтобетона [9...11]. При формировании полимербитумной прослойки происходят взаимодействия макромолекул окисленного низкомолекулярного полиэтилена, имеющих поверхностно-активные функциональные группы, с активными центрами поверхности, затем фиксирование прослойки дисперсной масляной среды на минеральной поверхности, вытеснение части дисперсионной среды сложными структурными единицами (ССЕ) битума и ассоциатами ССЕ с макромолекулами низкомолекулярного полиэтилена в результате их адсорбции в приповерхностном слое.

Заключение.

Установлено, что при введении добавки окисленного низкомолекулярного полиэтилена Honeywell Titan 7686 в дорожный битум его динамическая вязкость повышается незначительно. Чуть больше повышает динамическую вязкость добавка неокисленного низкомолекулярного полиэтилена Honeywell Titan 7205. Наиболее высокие значения динамической вязкости отмечаются для битумного вяжущего с добавкой Вискодор-ПВ1 при ее расходе 4 % от массы битума, особенно при температуре ниже 130 °С.

Наиболее технологичной и эффективной добавкой из рассмотренных добавок на основе низкомолекулярного полиэтилена следует признать добавку Honeywell Titan 7686 при ее расходе 2 % от массы битума. Использование этой добавки в асфальтобетонных смесях позволит проводить уплотнение при пониженных температурах воздуха, не потребует увеличения температуры приготовления и укладки смеси, а полученное асфальтобетонное покрытие будет обладать повышенной водостойкостью, стабильностью и долговечностью.

Достижение указанных показателей особенно важно для покрытий городской улично-дорожной сети, т.к. дорожное покрытие в городских условиях работает в сложных условиях. Устройство асфальтобетонных покрытий в городских условиях осложняется наличием интенсивного движения, стесненностью из-за наличия городской застройки и экологическими проблемами из-за испарений при укладке асфальтобетонных смесей. Использование добавки окисленного низкомолекулярного полиэтилена Honeywell Titan 7686 с учетом полученных технологических показателей будет способствовать решению названных проблем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Соломенцев, А. Б.** Влияние термоэластопластов типа SBS на вязкость полимерно-битумного вяжущего и технологические температуры асфальтобетонной смеси / А. Б. Соломенцев, В. В. Корогодина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 2(13). – С. 25-35.
2. **Соломенцев, А. Б.** Оценка уплотняемости горячих асфальтобетонных смесей с низкотемпературными добавками / А. Б. Соломенцев // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 4(78). – С. 97-107.
3. **Соломенцев, А. Б.** Исследования физико-механических свойств асфальтовяжущего с адгезионными добавками / А. Б. Соломенцев, Л. С. Мосюра, И. Ю. Анахин, Н. Г. Грошев // Международный научно – исследовательский журнал. – 2017. – № 1(55). – Часть 4. – С. 124-127.
4. **Соломенцев, А. Б.** Реологическая чувствительность дорожного битума к полимерным добавкам и допустимые технологические температуры асфальтобетонных смесей / А. Б. Соломенцев, С. Л. Ревякин, Д. А. Онопричук // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 6. – С. 129-139.
5. **Ротц С., Хакер С., Руан Ю.** Материалы для битумного дорожного покрытия и способы их получения. Пат. № 2612387 (Российская Федерация), МПК C04B 26/26, C08L 95/00, C04B 111/27, заявитель и патентообладатель Ханивелл Интернешнл Инк. – №2013135447, заявл. 25.01.2012; – опубл. 10.03.2017, бюл. № 7. – 16 с.
6. **Сирота, А. Г.** Модификация структуры и свойств полиолефинов / А. Г. Сирота. – Л.: Химия, 1984. – 152 с.
7. **Сюняев, З. И.** Нефтяные дисперсные системы / З. И. Сюняев, Р. З. Сафиева, Р. З. Сюняев. – М.: Химия, 1990. – 226.
8. **Соломенцев, А. Б.** Механизмы влияния адгезионных добавок на процессы структурообразования в битуме и асфальтобетоне / А. Б. Соломенцев, Л. С. Мосюра // Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. – М.: МАДИ, 2019. – С. 64-74.
9. **Соломенцев, А. Б.** Условия формирования битумных прослоек в асфальтобетоне / А. Б. Соломенцев // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2019. – № 1(53). – С. 44-55.
10. **Дорожный теплый асфальтобетон** / И. В. Королев [и др.]. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1984. – С. 41-42.
11. **Ядыкина, В. В.** Влияние активных поверхностных центров кремнеземсодержащих минеральных компонентов на взаимодействие с битумом / В. В. Ядыкина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2003. – № 9(537). – С.75-79.

Поступила в редакцию 9 июля 2021

EVALUATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES FOR THE STREET-ROAD NETWORK IN URBAN AGGLOMERATIONS USING ADDITIVES OF POLYETHYLENE WITH LOW MOLECULAR WEIGHT

A. B. Solomentsev, Regist Moiz, Joseph Schwendeski Maselus

Solomentsev Alexander Borisovich, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Urban Environment Design, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia, phone: +7(910)748-17-58; e-mail: ab-solomentsev@mail.ru

Regist Moiz, student of the Institute of Architecture and Construction in Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia, phone: +7(953)625-37-61; e-mail: registmoise26@gmail.com

Joseph Schwendeski Maselus, student of the Institute of Architecture and Construction in Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia, phone: +7(953)812-18-51; e-mail: joseph.shwendesky@yahoo.com

We obtained the values of the dynamic viscosity of bitumen binder with additives of polyethylene with low molecular weight in the temperature range of 60...160 °C. When polymer additives are introduced into road bitumen, the viscosity of bitumen increases. The highest values of dynamic viscosity are observed for the polymer additive Viskodor – PV1, this is clearly pronounced at the consumption of 4 % of the additive based on the mass of bitumen and at temperatures below 130 °C. The additive of unoxidized low molecular weight polyethylene Honeyvell Titan 7205 increases the viscosity to a greater extent than the additive of oxidized polyethylene Honeyvell Titan 7686. We determined as well the permissible technological temperatures of asphalt concrete mixtures with polymer additives at the stages of structure formation of asphalt concrete.

Keywords: additives of polyethylene with low molecular weight; thermoplastic elastomers (TPE); additives for warm asphalt concrete; permissible technological temperatures of asphalt concrete mixtures; dynamic viscosity of bituminous binder.

REFERENCES

1. **Solomentsev A. B.** *Influence of thermoplastic elastomers of the SBS type on the viscosity of the polymer-bitumen binder and the technological temperatures of the asphalt concrete mixture.* Housing and communal infrastructure. 2020. No. 2(13). Pp. 25-35. (in Russian)
2. **Solomentsev A. B.** *Evaluation of compaction of hot asphalt concrete mixtures with low-temperature additives.* Construction and reconstruction. 2018. No. 4(78). Pp. 97-107. (in Russian)
3. **Solomentsev A. B., Mosyura L. S., Anakhin I. Yu., Groshev N. G.** *Investigation of physical and mechanical properties of asphalt binder with adhesive additives.* International scientific research journal. 2017. No. 1(55). Part 4. Pp. 124-127. (in Russian)
4. **Solomentsev A. B., Revyakin S. L., Onopriichuk D. A.** *Rheological sensitivity of road bitumen to polymer additives and permissible technological temperatures of asphalt concrete mixtures.* Construction and reconstruction. 2017. No. 6. Pp. 129-139. (in Russian)
5. **Rotz S., Hacker S., Rouen Yu.** *Materials for bituminous road pavement and methods for their production.* Pat. No. 2612387 (Russian Federation), IPC C04B 26/26, C08L 95/00, C04B 111/27, applicant and patentee Honeywell International Inc. No. 2013135447, app. 01/25/2012; publ. 10.03.2017, bul. No. 7. 16 p. (in Russian)
6. **Orphan A. G.** *Modification of the structure and properties of polyolefins.* Leningrad, Chemistry. 1984. 152 p. (in Russian)
7. **Sunyaev Z. I., Safieva R. Z., Sunyaev R. Z.** *Oil dispersed systems.* Moscow, Chemistry. 1990. 226 p. (in Russian)
8. **Solomentsev A. B., Mosyura L. S.** *Mechanisms of the influence of adhesive additives on the processes of structure formation in bitumen and asphalt concrete.* Collection of articles and reports of the annual scientific session of the Association of Asphalt Concrete Researchers. Moscow, MADI. 2019. Pp. 64-74. (in Russian)
9. **Solomentsev A. B.** *Conditions for the formation of bituminous layers in asphalt concrete.* Scientific journal of construction and architecture. 2019. No. 1(53). Pp. 44-55. (in Russian)
10. **Korolev I.V.** *Road warm asphalt concrete.* Kiev, Vishcha school. Head publishing house. 1984. Pp. 41-42. (in Russian)
11. **Yadykina V. V.** *Influence of active surface centers of silica-containing mineral components on interaction with bitumen.* News of higher educational institutions. Construction. 2003. No. 9(537). Pp. 75-79. (in Russian)

Received 9 July 2021

Для цитирования:

Соломенцев, А. Б. Оценка технологических параметров асфальтобетонных смесей для улично-дорожной сети городских агломераций с добавками низкомолекулярного полиэтилена / А. Б. Соломенцев, Регист Моиз, Жозеф Швендески Маселюс // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 85-96. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.009.

FOR CITATION:

Solomentsev A. B., Regist Moiz, Joseph Schwendeski Maselus *Evaluation of technological parameters of asphalt concrete mixtures for the street-road network in urban agglomerations using additives of polyethylene with low molecular weight.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 85-96. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.009. (in Russian)

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.010

УДК 696.48-67

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТНОЙ СПОСОБНОСТИ ГЕЛИОСИСТЕМЫ ГОСТИНИЦЫ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. М. Попова, Д. М. Чудинов, О. А. Сотникова, Н. А. Петрикеева

Попова Наталья Михайловна, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: exclusiv.na@mail.ru

Чудинов Дмитрий Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: dmch_@mail.ru

Сотникова Ольга Анатольевна, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования зданий и сооружений им. Н.В. Троицкого, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)2-77-43-39; e-mail: ksenija.sotnikova@yandex.ru

Петрикеева Наталья Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru

Вопрос энергообеспечения зданий и сооружений на территориях с малоразвитой инженерной инфраструктурой и децентрализованными системами частично может быть решен применением солнечных систем теплоснабжения (или горячего водоснабжения). Подобные системы - надежные, безопасные, простые и малозатратные в эксплуатации, сокращают потребление традиционных энергоресурсов и эмиссию вредных выбросов в атмосферу. Возможность массового внедрения гелиоустановок в основном сдерживается стоимостными показателями, определяющими срок окупаемости. Ежегодный рост цен на традиционное органическое топливо, возможность изготовления солнечных коллекторов собственными силами и средствами может повысить их привлекательность. В работе произведена оценка рентабельности солнечной системы горячего водоснабжения гостиницы, расположенной в селе Бабяково Воронежской области для двух временных периодов (2005 г. и 2021 г.) с учетом повышения стоимости на электроэнергию, являющуюся основным традиционным энергоресурсом. Солнечные коллекторы гелиосистемы производятся собственными силами и средствами. Внедрение гелиоустановки для нужд горячего водоснабжения в традиционную систему теплоснабжения гостиницы позволит сократить потребление электроэнергии на 44 %. В работе показано, что повышение цены на электроэнергию за период с 2005 г. по 2021 г. не компенсировало рост стоимости материалов на изготовление солнечных коллекторов. При этом срок окупаемости для 2005 г. составлял 6,0 лет, для 2021 г. – равен 13,1 годам. Эффективная эксплуатация соответствует периоду 6,9 лет. Установка относительно российских и зарубежных производителей по затратам занимает среднее положение. При стоимости электроэнергии на уровне европейского рынка (2021 г.) срок окупаемости составляет 1,4 года.

Ключевые слова: гелиоустановки; солнечные коллекторы; конкурентоспособность; срок окупаемости.

Россия – одна из немногих стран, способных полностью обеспечить себя энергоресурсами (органическим топливом). На ее территории сосредоточено значительное количество мировых запасов газа, нефти и угля (45 % – газ, 8% – нефть, 23 % – уголь) [1]. Однако существуют обширные малонаселенные территории, не подключенные к централизован-

ным энергетическим системам, с малоразвитой инфраструктурой. Это создает определенные трудности по обеспечению населения тепловой и электрической энергией. Значительная часть бюджета тратится на завозимое органическое топливо. Решение может быть найдено посредством применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, в частности солнечной. При этом наиболее перспективными с технической и экономической точки зрения являются гелиосистемы горячего водоснабжения [2, 3]. Сегодня их внедрение сдерживается из-за низкой конкурентной способности, определяемой валовым, техническим, экономическим потенциалами [2, 4, 5].

В СССР большое внимание уделялось вопросам разработки, исследования и внедрения солнечных коллекторов. В последние годы существования Советского Союза разрабатывалось восемь новых конструкций солнечных коллекторов под руководством Б.В. Тарнижевского [6]. На текущий момент российские производители выпускают коллекторы небольшими партиями или под заказ.

Перед потребителем стоит выбор оборудования альтернативной энергетики между отечественными и зарубежными производителями. Первые предпочтительней по стоимостным показателям, но проигрывают по техническому исполнению [7, 8]. В данной статье приводятся технико-экономические показатели солнечных коллекторов системы горячего водоснабжения гостиницы в селе Бабяково Воронежской области (рис. 1) в случае их изготовления и монтажа собственными силами для двух временных периодов.



Рис.1. Внешний вид установленных гелиоколлекторов

*Конструктивные особенности и материалы,
используемые для изготовления солнечного коллектора*

Для системы горячего водоснабжения гостиницы используются плоские солнечные коллекторы, основными элементами которых являются: медный абсорбер, покрытый черной краской (рис. 2); стальной грунтованный и окрашенный корпус (рис. 3); теплоизоляция боковых стенок, тыльной части корпуса посредством минеральной ваты и остеклением фронтальной части. Детальная конструкция солнечного коллектора и стоимостные показатели его элементов представлены в табл. 1 для 2005 г. и 2021 г.

а)



б)



Рис. 2. Конструкция медного абсорбера солнечного коллектора:
а – без покрытия; б – с покрытием чёрной краской

Таблица 1

Стоимость солнечного коллектора и его элементов по ценам 2005 г. и 2021 г.

Стоимость солнечного коллектора и его элементов по ценам 2005 г. и 2021 г.							
№ п/п	Наименование материала	Ед. изм.	Кол -во	Цена руб./ед.		Сумма, руб.	
				2005 г.	2021 г.	2005 г.	2021 г.
Солнечный коллектор							
1	КМЕ Труба медная жесткая DN15×1 F37	м	14	73,85	394,00	1033,90	14474,6
2	Угол 90 д 15	шт.	12	3,50	24,75	42,00	297,00
3	Переходной ниппель с наруж- ной резьбой 15×1/2	шт.	2	7,35	42,00	14,70	84,00
4	Припой мягкий (250 гр.)	шт.	0,5	129,50	1145,70	64,75	572,85
5	Флюс для мягкого припоя (250 гр.)	шт.	0,17	277,55	1541,19	47,18	262,00
6	Лист М1 = 0,60 мм шир. 0,6 м, дл. 1,5 м	шт.	2	1010,83	3480,00	2021,66	6960,00
7	Минеральная вата URSA 21,9 м шириной 1 м, толщиной 0,07 м	шт.	0,17	890,00	2700,00	151,3	459,00
8	Уголок 25×25×4 (н/м) (ст. 3)	м	6	144,51	854,00	867,06	5124,00
9	Железный лист 1,25×2,5 тол- щиной 0,5 мм	шт.	1	467,20	1274,00	467,20	1274,00
10	Стекло 4 мм	м ²	2	280,00	1200,00	560,00	2400
11	Грунтовка 2,5 кг	шт.	0,17	110,00	424,00	18,70	72,08
12	Краска чёрная 0,9 кг	шт.	0,2	66,00	237,00	13,20	47,40
13	Герметик	шт.	1	78,00	280,00	78,00	280,00
14	Теплоноситель «Тёплый дом 65» 10 литров	шт.	0,3	545,97	1100,00	163,79	330,00
15	Итого					5543,44	32639,93
16	Итого на систему горячего водоснабжения (6 шт.)					33260,64	195821,58

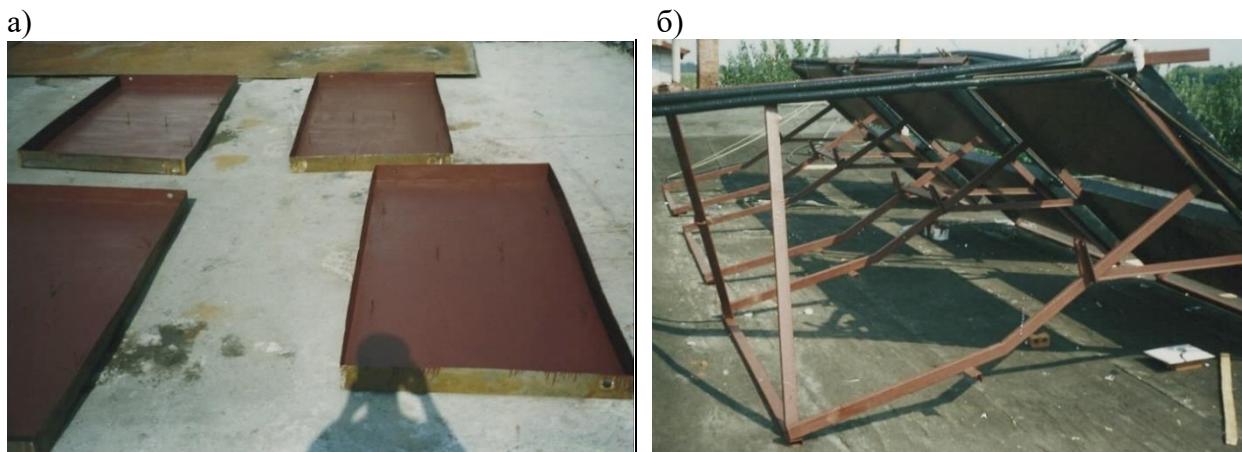


Рис. 3. Внешний вид элементов солнечного коллектора:
а – стальной корпус; б – стальная опора

Плоские солнечные коллекторы имеют следующие положительные качества: надежные, долговечные, минимальные эксплуатационные издержки, безопасные в работе.

Технико-экономические показатели солнечного коллектора

Объектом исследования является солнечная система горячего водоснабжения гостиницы в селе Бабяково Воронежской области, расположенная вне зоны действия централизованных систем энергоснабжения (за исключением электрических сетей). Основными энергоресурсами являются электричество, уголь и дрова. Суточный объем нагреваемой воды составляет $V = 0,6 \text{ м}^3$, площадь солнечного коллектора $A = 2 \text{ м}^2$, количество солнечных коллекторов $N = 6$ шт, угол наклона $\alpha = 52^\circ$. Солнечные коллекторы размещаются на кровле здания на стальных опорах (см. рис. 1, рис. 3, б). Бак-аккумулятор находится в теплогенераторной, где в качестве доводчика установлен электрический котел. Контроль и управление системой осуществляется автоматикой. Гелиоустановка эксплуатируется круглогодично, поэтому в качестве теплоносителя используется антифриз. Циркуляция теплоносителя - принудительная.

В качестве критерия оценки технического потенциала определялся коэффициент замещения f (доля тепловой нагрузки на горячее водоснабжение, обеспечиваемая за счет солнечной энергии), для экономического потенциала - срок окупаемости $T_{ок}$.

Коэффициент замещения f определяется по формуле [2]

$$f = 1,029Q_2 - 0,065Q_1 - 0,245Q_2^2 + 0,0018Q_1^2 + 0,0215Q_2^3. \quad (1)$$

Здесь безразмерные комплексы Q_1 и Q_2 определяются по формулам:

$$Q_1 = AF'_R U_L (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta t / L, \quad (2)$$

$$Q_2 = AF'_R (\overline{\tau\alpha}) \bar{H}_T N / L, \quad (3)$$

где A – площадь солнечного коллектора, м^2 ; F'_R – эффективный коэффициент отвода теплоты, учитывающий влияние теплообменника; U_L – полный коэффициент тепловых потерь коллектора, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; Δt – число секунд в месяце; T_{ref} – базисная температура, принятая равной 100°C ; $\bar{T}_a$ – среднемесячная температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$; L – полная месячная тепловая нагрузка, Дж; $\bar{H}_T$ – среднемесячный дневной приход суммарной солнечной радиации на наклонную поверхность коллектора, $\text{Дж}/\text{м}^2$; N – число дней в месяце; $(\overline{\tau\alpha})$ – среднемесячная приведённая поглощательная способность.

Определение составляющих расчетных зависимостей (2), (3) показано в работах [9, 10].

Температура $\bar{T}_a$, значение безразмерных комплексов Q_1, Q_2 , коэффициентов замещения f_i для солнечной системы горячего водоснабжения гостиницы в селе Бабяково Воронежской области показаны в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные технические показатели для солнечных коллекторов (гелиосистемы)
в селе Бабяково Воронежской области

Наименование показателя	Значение показателей по месяцам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура, °C	-7,5	-7,2	-1,4	8,2	14,9	18,4	20,1	18,9	13,1	6,5	-0,1	-5,2
Безразмерный комплекс Q_1	2,55	2,54	2,24	2,07	2,08	1,76	1,67	1,77	2,13	1,76	2,02	2,37
Безразмерный комплекс Q_2	0,31	0,47	0,65	0,84	1,26	1,33	1,26	1,18	1,05	0,45	0,26	0,16
Коэффициент замещения f_i	0,15	0,28	0,44	0,58	0,82	0,88	0,85	0,80	0,71	0,31	0,13	0,02

Годовой коэффициент замещения $f_{\text{год}}$ (отношение годовой суммы солнечной теплоты к годовой тепловой нагрузке на горячее водоснабжение) составляет 44 %. Таким образом, годовая выработка доводчиком (электрическим котлом) составляет 56 %.

Срок окупаемости солнечных коллекторов (солнечной системы горячего водоснабжения) $T_{\text{ок}}$, лет с достаточной степенью точности [11] можно определить по формуле

$$T_{\text{ок}} = C_{\text{кол}} \cdot A / \mathcal{E}_{\text{год}}, \quad (4)$$

где $C_{\text{кол}}$ – стоимость одного квадратного метра солнечных коллекторов с учетом строительно-монтажных работ (солнечной системы горячего водоснабжения), руб./м²; A – площадь солнечных коллекторов, м²; $\mathcal{E}_{\text{год}}$ – годовая экономия денежных средств с учетом эксплуатационных затрат, руб./год.

Годовая экономия денежных средств с учетом эксплуатационных затрат определяется по формуле, руб./год.

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = C_{\text{эл}} \cdot B - C_{\text{экс}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{эл}}$ – стоимость потребляемой электроэнергии, руб./кВт·ч; B – годовая экономия электроэнергии, обеспечиваемая использованием солнечной энергии, кВт·ч/год; $C_{\text{экс}}$ – эксплуатационные затраты, руб./год.

Годовая экономия электроэнергии (5557 кВт·ч/год), обеспечиваемая использованием солнечной энергии, определяется по формуле:

$$B = f_{\text{год}} \cdot Q_{\text{гв}}^{\text{год}}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{гв}}^{\text{год}}$ – годовое потребление тепловой энергии на горячее водоснабжение, кВт·ч.

Параметры, определяющие экономический потенциал солнечных коллекторов (гелиосистемы) для различных временных интервалов (2005 г. и 2021 г.) отражены в табл. 3.

Таблица 3

**Экономические показатели для солнечных коллекторов (гелиосистемы)
в селе Бабяково Воронежской области**

Производитель, марка	Наименование показателя				
	Расчетный период	Стоимость солнечного кол- лектора, $C_{\text{кол}}$, руб.	Стоимость строи- тельно-монтаж- ных работ, $C_{\text{смр}}$, руб.	Годовая эконо- мия денежных средств с уче- том эксплуата- ционных затрат, $\mathcal{E}_{\text{год}}$, руб./год	Срок окупаемости, $T_{\text{ок}}$, лет
Собственное производство	2005 г.	5543	998	5770	6,0
	2021 г.	32640	5875	15 404 (146 964)	13,1 (1,4)
ООО «Новый Полус», ЯSolar Lite	2021 г.	22 800	4104	15 404 (146 964)	9,1 (1,0)
ООО «Новый Полус», ЯSolar	2021 г.	27 300	4914	15 404 (146 964)	11,0 (1,5)
ООО «АльтЭнергия», AlternEnergy L1	2021 г.	13 392	2411	15 404 (146 964)	5,4 (0,6)
ПК «АНДИ Групп», «Сокол-Эффект-М»	2021 г.	35 758	6436	15 404 (146 964)	14,3 (1,5)
VISSMANN, Vitosol 100-F	2021 г.	52 750	9495	15 404 (146 964)	21,2 (2,2)
Buderus, CKN 2.0-s	2021 г.	55 099	9918	15 404 (146 964)	22,1 (2,3)
HUCH ENTEC, FKF 240-V/H Al/Cu	2021 г.	71 280	12830	15 404 (146 964)	28,6 (3,0)
Примечание: показатели в табл. 3 определены из расчета стоимости электроэнергии 1,06 руб./($\text{kBt}\cdot\text{ч}$) в 2005 г. и 2,83 руб./($\text{kBt}\cdot\text{ч}$) в 2021 г. Эксплуатационные затраты составляют 120,71 руб./год. в 2005 г. и 322,40 (3074,76) руб./год. в 2021 г. В скобках приведены значения для европейского рынка из расчета 27 руб./($\text{kBt}\cdot\text{ч}$).					

Заключение.

Применение солнечных систем горячего водоснабжения зданий и сооружений наиболее выгодно на территориях, не охваченных действием централизованных систем теплоснабжения. Примером может служить гостиница, расположенная в селе Бабяково Воронежской области. Основная доля энергопотребления (в том числе, на нужды горячего водоснабжения, приходится 56 %) обеспечивается электроэнергией. Дополнительным источником тепловой энергии является солнечная система горячего водоснабжения с показателем коэффициента замещения 44 %. Для повышения экономического потенциала гелиосистемы (за счет сокращения капитальных затрат и стоимости строительно-монтажных работ), изготовление солнечных коллекторов и монтаж выполнены собственными силами. Произведена оценка срока окупаемости солнечных коллекторов для 2005 г. и 2021 г., которые, соответственно, составили 6,0 лет и 13,1 года.

Установлено, что рост стоимости электроэнергии не компенсировал повышение цены на комплектующие солнечного коллектора. Однако при среднем сроке службе солнечного коллектора 20 лет, систему можно эффективно использовать 6,9 лет. Относительно российских и зарубежных производителей коллекторы собственного производства по затратам занимают среднее стоимостное положение.

С приближением стоимости электроэнергии к значениям, характеризующим европейский рынок, срок окупаемости составит 1,4 года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России** / П. П. Безруких [и др.]; под ред. П. П. Безруких. – СПб.: Наука, 2002. – 314 с.
2. **Сотникова, О. А.** Солнечные системы горячего водоснабжения. Экономическая эффективность использования солнечных систем горячего водоснабжения / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, тепло-снабжение и строительная теплофизика. – 2007. – № 2. – С. 88-94.
3. **Попель, О. С.** Солнечные водонагреватели: возможности использования в климатических условиях средней полосы России / О. С. Попель, С. Е. Фрид // Теплоэнергетика. – 2001. – № 7. – С. 44-47.
4. **Чудинов, Д. М.** Влияние параметров оборудования гелиоустановок на эффективность альтернативного теплоснабжения зданий / Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина, О. А. Сотникова // Промышленная энергетика. – 2008. – № 9. – С. 44-46.
5. **Чудинов, Д. М.** Энергосберегающие мероприятия в многоквартирных жилых домах / Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2019. – № 1. – С. 32-36.
6. **Тарнижевский, Б. П.** Солнечные коллекторы и водонагревательные установки / Б. П. Тарнижевский, В. Б. Алексеев, З. А. Кабилов, И. М. Абуев // Теплоэнергетика. – 1995. – № 6. – С. 48-51.
7. **Чудинов, Д. М.** Обеспечение необходимого уровня энергоактивности солнечных систем, проектируемых для регионов Российской Федерации / Д. М. Чудинов, О. А. Сотникова, Т. В. Щукина // Энергосбережение. – 2009. – № 3. – С. 74-76.
8. **Щукина, Т. В.** Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии в гелиоустановках / Т. В. Щукина, Д. М. Чудинов, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2017. – № 1. – С. 118-121.
9. **Бекман, У.** Расчёт систем солнечного теплоснабжения / У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи; пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 80 с.
10. **Сотникова, О. А.** Использование тепловой энергии солнца в пассивных и активных системах теплоснабжения / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2005. – Т. 1. – № 6. – С. 56-63.
11. **Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. I. Отопление** / В. Н. Богословский [и др.]; под ред. И. Г. Старовойтова и Ю. И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.

Поступила в редакцию 28 февраля 2021

**COMPETITIVENESS ASSESSMENT OF THE SOLAR SYSTEM
OF A HOTEL IN THE VORONEZH REGION**

N. M. Popova, D. M. Chudinov, O. A. Sotnikova, N. A. Petrikeeva

Popova Natalya Mikhailovna, Senior lecturer, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh, phone: +7 (473)271-53-21; e-mail: exclusiv.na@mail.ru
Chudinov Dmitry Mikhailovich, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh, phone: +7 (473) 271-53-21; e-mail: dmch_@mail.ru
Sotnikova Olga Anatolyevna, Dr. Sc. (Tech.), Professor, Head of the Department of Design of Buildings and Structures named after N.V. Troitsky, Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh, phone: + 7(473) 2-77-43-39; e-mail: ksenija.sotnikova@yandex.ru

Petrikeeva Natalya Alexandrovna, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh, phone: +7 (473) 271-53-21; e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru

The issue of energy supply of buildings and structures in areas with poorly developed engineering infrastructure and decentralized systems can be partially solved by the use of solar heat supply systems (or hot water supply). Such systems (reliable, safe, simple and low-cost in operation) reduce the consumption of traditional energy resources and the emission of harmful emissions into the atmosphere. The possibility of mass implementation of solar plants was largely constrained by cost indicators that determined the payback period. The annual rise in prices for traditional organic fuels, the ability to manufacture solar collectors with their own strength and means can increase their attractiveness. The work assessed the profitability of the solar hot water supply system of a hotel, located in the village of Babyakovo, Voronezh Region, for two time periods (2005 and 2021), taking into account the increase in the cost of electricity, which is the main traditional energy source. The solar collectors were produced in-house. The introduction of a solar plant for the needs of hot water supply in the traditional heating system of the hotel can reduce electric energy consumption by 44 %. The paper shows that the increase in the price of electricity for the period from 2005 to 2021 did not compensate for the increase in the cost of materials for the manufacture of solar collectors. At the same time, the payback period for 2005 was 6,0 years, for 2021 was equal to 13,1 years. Efficient operation of the plants covers a period of 6,9 years. The installation of Russian and foreign manufacturers in terms of costs occupies an average position. With the cost of electricity at the level of the European market (2021) the payback period is 1,4 years.

Keywords: solar plants; solar collectors; competitiveness; payback period.

REFERENCES

1. **Bezrukikh P. P.** *Renewable Energy Resources and Efficiency in Russia*. St. Petersburg, Science. 2002. 314 p. (in Russian)
2. **Sotnikova O. A., Chudinov D. M.** *Solar systems of hot water supply. Economic efficiency of using solar hot water supply systems*. AVOK, Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics. 2007. No. 2. Pp. 88-94. (in Russian)
3. **Popel O. S., Fried S. E.** *Solar water heaters: opportunities for use in climatic conditions of the middle strip of Russia*. Thermal power engineering. 2001. No. 7. Pp. 44-47. (in Russian)
4. **Chudinov D. M., Schukina T. V., Sotnikova O. A.** *The influence of the parameters of the equipment of heliodustuffs on the efficiency of alternative heat supply of buildings*. Industrial energy. 2008. No. 9. Pp. 44-46. (in Russian)
5. **Chudinov D. M., Schukina T. V., Petrikeeva N. A., Popova N. M.** *Energy-saving events in apartment buildings*. High technologies in the construction complex. 2019. No. 1. Pp. 32-36. (in Russian)
6. **Tarnizhevsky B. P., Alekseev V. B., Kabilov Z. A., Abuev I. M.** *Solar collectors and water heaters* *Thermal power engineering*. 1995. No. 6. Pp. 48 - 51.
7. **Chudinov D. M., Sotnikova O. A., Schukina T. V.** *Ensuring the necessary level of energy activity of solar systems designed for the regions of the Russian Federation*. Energy conservation. 2009. No. 3. Pp. 74-76. (in Russian)
8. **Shchukina T. V., Chudinov D. M., Petrikeeva N. A., Popova N. M.** *Combined generation of thermal and electrical energy in solar plants*. Scientific bulletin of Voronezh State University of Architecture and Construction. Series: High Technology. Ecology. 2017. No. 1. Pp. 118-121. (in Russian)
9. **Beckman W., Klein S., Duffie J.** *Calculation of solar heat supply systems*. Moscow, Energoizdat. 1982. 80 p. (in Russian)

10. **Sotnikova O. A., Chudinov D. M.** *Using the thermal energy of the sun in passive and active heat supply systems.* Bulletin of Voronezh State Technical University. 2005. Т. 1. No. 6. Pp. 56-63. (in Russian)
11. **Bogoslovsky V. N.** *Internal sanitary facilities. At 3 h. Part I. Heating.* Moscow, Stroyizdat.1990. 344 p. (in Russian)

Received 28 February 2021

Для цитирования:

Попова, Н. М. Оценка конкурентной способности гелиосистемы гостиницы в Воронежской области / Н. М. Попова, Д. М. Чудинов, О. А. Сотникова, Н. А. Петрикеева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 97-105. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.010.

FOR CITATION:

Popova N. M., Chudinov D. M., Sotnikova O. A., Petrikeeva N. A. *Competitiveness assessment of the solar system of a hotel in the Voronezh region.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 97-105. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.010. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.011

УДК 621.438:330.322.55

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКИ В КОТЕЛЬНОЙ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Д. А. Емельянов, П. А. Артамонов

Емельянов Денис Александрович, магистрант кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Российская Федерация, тел: +7(982)966-12-64; e-mail: deniska-emelyanov-96@mail.ru

Артамонов Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Российская Федерация, тел: +7(922)475-40-73; e-mail: artamonovpa@tyuiu.ru

Рассмотрена проблема сокращения затрат при потреблении электрической энергии оборудованием центральной котельной средней мощности. Перспективным направлением в решении этой задачи является использование альтернативного источника электроэнергии в виде газопоршневой установки. Теплогенерирующие установки для централизованного теплоснабжения были рассчитаны с учетом минимального потребления электроэнергии и достижения надежности. Проведен анализ потребления электроэнергии оборудованием котельной установленной мощностью 4,7 МВт. Определены технические характеристики газопоршневой установки, выбранной в качестве нового источника электроэнергии. Проведены технико-экономические расчеты стоимости производства собственного электричества для котельной. Применение собственного источника электроэнергии позволяет снизить стоимость электроэнергии в сравнении с покупкой от центральных электросетей. Сделан вывод о том, что применение собственного альтернативного источника электроэнергии для котельной – это выгодное вложение для снижения финансовой нагрузки на теплоснабжающую организацию и для снижения стоимости тарифа на тепловую энергию.

Ключевые слова: альтернативный источник; газопоршневая электростанция; стоимость электроэнергии; технико-экономическое обоснование; теплоснабжение; котельные.

Большинство котельных малой мощности в Тюменском районе подключены к центральным распределительным сетям электроэнергии одного поставщика, который определяет цену тарифа на электрическую энергию по договору между ним и потребителем. С 2003 по 2013 г. цены на электроэнергию в промышленности возросли примерно в 3 раза [1]. Изменения действующих тарифов на электроэнергию всегда существенно, причем крайне негативно, сказывается на уровне жизни населения, результатах хозяйственной деятельности организаций и развитие экономики в целом, так как затраты на электроэнергию на некоторых предприятиях составляют значительную величину [2]. Предприятия, которые производят и продают тепловую энергию потребителям, несут большую финансовую нагрузку по покупке электрической энергии от централизованных электросетей для обеспечения работоспособности оборудования котельных. Поэтому, даже при практически постоянных затратах, таких как фонд оплаты труда сотрудников, амортизационные отчисления, ремонтный фонд и т. п., рост себестоимости выработки тепловой энергии неизбежен [3]. Поэтому на объектах теплоснабжения требуются новые нетрадиционные подходы для снижения эксплуатационных затрат, финансовой нагрузки на предприятия жилищно-коммунального хозяйства, что при успешном внедрении приведет к снижению конечной стоимости тарифа на тепловую энергию.

В большинстве развитых стран быстро растет интерес к автономным источникам

энергии сравнительно малой мощности [4].

Рассмотрим возможность применения альтернативного источника электроэнергии для котельной средней мощности на примере существующей центральной котельной в с. Горьковка Тюменской области, Тюменского района мощностью 4,7 МВт.

В с. Горьковка централизованное теплоснабжение представлено тремя источниками тепловой энергии. Одним из самых загруженных источников тепловой энергии по потреблению электрической энергии является котельная «Центральная» по адресу ул. Сибирская 18. Регулирование отпуска тепла осуществляется качественным методом. Принципиальная схема котельной с указанием оборудования, затрачивающего электроэнергию, представлена на рис. 1.

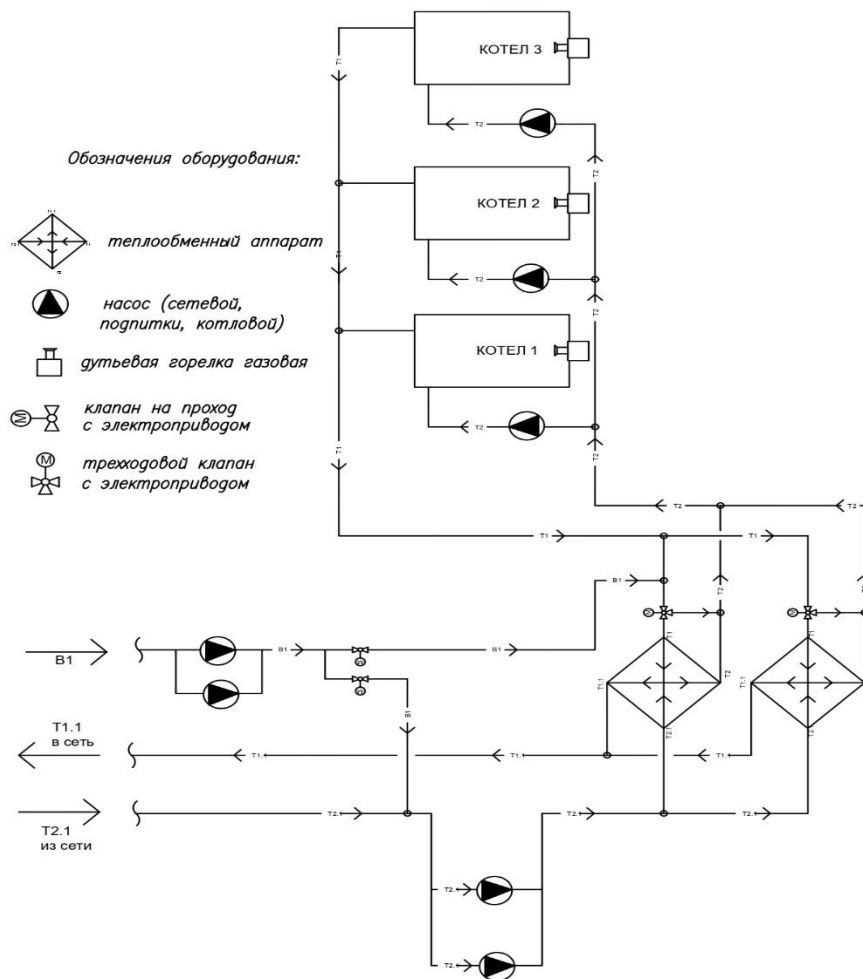


Рис. 1. Принципиальная тепломеханическая схема котельной

Основные цели производства тепловой энергии – отопление многоквартирных домов и объектов социально-бытового назначения. Нагрузка на горячее водоснабжение, вентиляцию, кондиционирование – отсутствует.

В табл. 1 приведен перечень основного оборудования, потребляющего электроэнергию, с указанием времени работы.

Данные в табл. 1 приведены для всего отопительного периода по предоставлению услуги для нужд отопления. Исходя из этого, рассчитано потребление электроэнергии.

Среднесуточное потребление электроэнергии составит:

$$24 \text{ ч} \cdot 15 \text{ кВт} + 24 \text{ ч} \cdot 7,5 \text{ кВт} + 1 \text{ ч} \cdot 1,5 \text{ кВт} + 24 \text{ ч} \cdot 1,5 \text{ кВт} + 8 \text{ ч} \cdot 0,3 \text{ кВт} = 579,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{сут.}$$

Среднечасовое электропотребление составит:

$$579,9 / 24 = 24,16 \text{ кВт.}$$

Стоимость электроэнергии от центральных электросетей для котельной составляет 6,5 руб/кВт·ч (цена на электроэнергию принята на уровне фактической цены, сложившейся за 2016 г., по данным первичных документов эксплуатирующей организации с учетом индексов роста цен на 2018 и 2021 годы).

Таблица 1

Характеристика электропотребляющего оборудования котельной

Оборудование	Кол-во, шт.	Кол-во в работе, шт.	Время работы, ч/сут.	Мощность, кВт
Циркуляционные насосы	2	1	24	15
Котловые насосы	3	1	24	7,5
Подпиточные насосы	2	1	1 (среднее значение включения насоса на подпитку системы)	1,5
Дутьевые горелки	3	1-2	24 (в зависимости от температуры наружного воздуха, количество в работе меняется)	1,5 (среднее значение мощности при работе горелки в сутки).
Внутреннее освещение (лампы)	8	8	8 (среднее значение темного времени суток в отопительный период)	0,3

Для уменьшения стоимости электроэнергии возможно применение собственного альтернативного источника электроэнергии. На существующем рынке представлены разнообразные установки для выработки электрической энергии, работающие на различных видах топлива (мазут, уголь, газ, дизель и т.д.). Однако, эти виды топлива слишком дорогие для производства собственной электроэнергии. Кроме того, дизельные электростанции имеют низкий КПД и очень высокую себестоимость производства электроэнергии, которая доходит до 80-120 рублей за кВт·ч [6].

В условиях роста цен на топливо энергетика обращается все к более экономичным технологиям производства электроэнергии [5]. Многим крупным и средним предприятиям стало выгоднее генерировать собственную электроэнергию из газа [7].

Рассматриваемая котельная работает на природном газе, поступающем по централизованным трубопроводам газоснабжения в ГРП внутри котельной с давлением 300 кПа. Необходимое давление газа и его количество спроектировано с запасом для работы горелок котлов (300 кПа – давление перед входом в горелку) даже при одновременном их включении. А так как в работе на самые холодные дни отопительного периода находятся всего 2 горелки, поэтому разумным решением является установка собственного источника электроэнергии в виде газопоршневой установки (ГПУ), работающей на природном газе.

Для обоснования внедрения и расчета технико-экономического обоснования использованы данные среднечасового расхода электроэнергии и стоимости электроэнергии от центральных сетей, газа от центрального газопровода. Стоимость газа 5,51 руб./м³ (в соответствии с приказами ФАС России, ФСТ России, распоряжением Правительства Тюменской области, а также надбавки за калорийность и с индексами роста цен на 2019 год.).

Говоря о перспективах ГПУ, целесообразно выделить целый ряд преимуществ данных установок: адаптация к ситуациям с кратковременной эксплуатацией и очень частыми запусками; возможность переносить резкие перепады температурного режима; низкая стои-

мость обслуживания; износостойкость; простота в управлении [8]. Такие установки, как показала практика их применения на объектах в разных странах мира (Англия, Германия, Франция, Чехия и др.), являются высокоэффективными и надежными источниками энергии. Они широко используются на малых и средних промышленных предприятиях, в системах теплоснабжения городов, для тепло- и электроснабжения больниц, плавательных бассейнов, сельскохозяйственных предприятий [9]. Современные газопоршневые установки обладают феноменальной экономичностью, базирующиеся на высоком уровне электрического КПД [10].

Изучив варианты ГПУ различных мощностей и установленного двигателя для вращения генератора, выбрана установка «Газопоршневая электростанция ГЭС-60» от НПО «ГЭС», технические характеристики которой приведены в табл. 2. Такая установка перекроет все потребности в электричестве котельной «Центральная».

Таблица 2

Технические характеристики ГЭС-60

Наименование параметра	Значение
Номинальная мощность (длительная)	50 кВт (60 кВА)
Номинальное напряжение	400 В
Номинальная частота	50 Гц
Номинальный коэффициент мощности	0,8
Номинальный ток	87 А
Марка первичного двигателя	ЯМЗ-236М
Частота вращения вала двигателя	1500 об/мин
Давление топливного газа	0,01...6 МПа
Объем системы смазки	20 л
Объем системы охлаждения	62 л
Удельный расход топлива (зависит от режима работы и состава газа), не менее	0,3 м ³ /кВт.ч
Расход выхлопных газов (расчетный)	302 м ³ /ч 124 кг/ч
Максимальная теплоотдача оборудования	148 кВт×ч
Масса	1800 кг
Ресурс до капитального ремонта	30000 м.ч

Выбранная ГПУ базируется на самом распространенном двигателе ЯМЗ-236М Ярославского моторного завода. Проведем технико-экономический расчет для котельной «Центральная», которая работает на выработку тепла для отопления.

Исходные данные:

- ✓ время работы в году с 15 сентября по 15 мая (начало и окончание отопительного сезона в Тюменском районе), что составляет 242 дня или $t_{\text{год}} = 5808$ часов;
 - ✓ среднечасовое электропотребление котельной $W_{\text{обор.}} = 24,16 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$;
 - ✓ срок службы до первого ремонта по данным изготовителя $T_{\text{сл}} = 30000$ ч;
 - ✓ коэффициент использования ГПУ ($K_{\text{и}}$) = 1,00; так как ГПУ работает постоянно 24 часа в сутки за отопительный период;
 - ✓ стоимость газа $G_{\text{газ}} = 5,51 \text{ руб/м}^3$;
 - ✓ стоимость электроэнергии от центральных сетей $S_{\text{эл}} = 6,5 \text{ руб/кВт}$;
 - ✓ удельный расход топлива ГПУ: $G_{\text{уд.}} = 0,3 \text{ м}^3/\text{кВт} \cdot \text{ч}$.
- Затраты на техническое обслуживание ГПУ в год составляют:
- ✓ замена масла 10W40 – (4500 руб. – масло, 700 руб. – фильтр, итого 5200 руб. за 20 литров (объем смазки двигателя));
 - ✓ замена тосола «-30» – 4200 руб. за 62 л (объем системы охлаждения установки).

Согласно документу «Руководство по эксплуатации двигателей ЯМЗ 236 3902150-Б РЭ», периодичность замены масла для двигателя ЯМЗ-236 составит 500 часов, замена охлаждающей жидкости каждые 2000 часов. С учетом этого затраты на техническое обслуживание составляют:

$$З_{\text{обсл.}} = 5200 \cdot 5808 / 500 + 4200 \cdot 5808 / 2000 = 60403,2 + 12196,8 = 72600 \text{ руб./год.}$$

Для расчета стоимости капремонта двигателя ЯМЗ-236 изучена средняя стоимость ремонта (запчасти и работа) с сайтов различных крупных автомастерских, которая в среднем составляет 130000 руб.

За основу стоимости капремонта самого генератора взята средняя стоимость услуг различных ремонтных организаций, занимающихся генераторами. В наиболее неблагоприятном случае, когда большинство узлов генератора вышло из строя, примерная стоимость ремонта генератора мощностью 50 кВт составит 158000 руб. (58000 руб. – ремонт, 100000 руб. – запчасти). Суммарная стоимость капремонта $S_{\text{кап.ремонт}} = 288000$ руб., что представляет существенные расходы, при условии, что ремонт двигателя и генератора будет производиться сторонними организациями.

Расходы на обучение персонала при работе с ГПУ – 20000 руб.

Стоимость ГПУ с доставкой составит $S_{\text{ГПУ}} = 1580000$ руб., затраты на материалы для подключения и монтажные работы $S_{\text{СМР}} = 150000$ руб.

Результаты расчета технико-экономических показателей применения газопоршневой установки в рассматриваемой котельной приведены в табл. 3.

Таблица 3

Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Формула	Значение
Установленная эл. мощность установки, $W_{\text{ГПУ}}$	-	50 кВт
Используемая эл. мощность оборудования котельной, $W_{\text{обор.}}$	-	24,16 кВт
Срок службы оборудования (до первого капремонта от производителя), $T_{\text{сл1}}$	-	30000 ч
Срок службы оборудования (до первого ремонта при работе в котельной «Центральная»), $T_{\text{сл2}}$	$T_{\text{сл2}} = \frac{T_{\text{сл1}}}{t_{\text{год}}}$	5,17 лет
Коэффициент использования, $K_{\text{и}}$	-	1,00
Годовая возможная выработка электроэнергии, $W_{\text{год}}$	$W_{\text{год}} = W_{\text{обор}} \cdot t_{\text{год}} \cdot K_{\text{и}}$	140321 кВт/год
Затраты на электроэнергию от центральных сетей часовые, $З_{\text{час}}$	$З_{\text{час}} = W_{\text{обор}} \times S_{\text{эл}}$	157,04 руб/ч
Затраты на электроэнергию от центральных сетей годовые, $З_{\text{год. общ. центр}}$	$З_{\text{од. общ. центр}} = З_{\text{час}} \times t_{\text{год}}$	912088,32 руб/год
Суммарные вложения по ГПУ, $S_{\text{сум}}$	$S_{\text{сум}} = S_{\text{ГПУ}} + S_{\text{СМР}}$	1730000 руб.
Расход топлива на ГПУ в год, $G_{\text{газ}}$	$G_{\text{газ}} = W_{\text{обор}} \times G_{\text{уд}} \times t_{\text{год}}$	42096,38 м ³ /год
Затраты на топливо в год, $З_{\text{год, топл}}$	$З_{\text{год, топл}} = G_{\text{газ}} \times S_{\text{газ}}$	232119,46 руб/год
Затраты на техобслуживание в год, $З_{\text{обсл.}}$	-	72600 руб/год
Стоимость капремонта двигателя и генератора, $S_{\text{кап.рем.}}$	-	288000 руб
Годовые затраты на капремонт двигателя и генератора $З_{\text{ап.рем.год}}$	$З_{\text{ап.рем.год}} = \frac{S_{\text{кап.рем.}}}{T_{\text{сл2}}}$	55705,9 руб/год
Затраты на обучение персонала при работе с ГПУ, $З_{\text{обуч}}$	-	20000 руб.
Общие годовые затраты на эксплуатацию с ГПУ, $З_{\text{общ.год.гпу}}$	$З_{\text{общ.год.гпу}} = З_{\text{кап.рем.год}} + З_{\text{год,топл}} + З_{\text{обуч}} + З_{\text{обс}}$	380425,36 руб/год
Общие часовые затраты на эксплуатацию ГПУ, $З_{\text{общ.час}}$	$З_{\text{бщ.час}} = \frac{З_{\text{кап.рем.год}}}{t_{\text{год}}}$	65,5 руб/час
Годовая экономия на электроэнергии, $Э$	$Э = З_{\text{год. общ. центр.}} - З_{\text{общ.год.гпу}}$	531663,32 руб.

Анализ расчетов, приведенных в табл. 3, показывает, что производство собственной электроэнергии для котельной «Центральной» выгодно по сравнению с покупкой электроэнергии от центральных электросетей при существующем тарифе 6,5 руб./кВт·ч. Срок окупаемости ГПУ составит:

$$CO = \frac{KB}{\mathcal{E}}, \quad (1)$$

где CO – срок окупаемости, лет; KB – капитальные вложения, руб., то есть сумма стоимости самой ГПУ и ее СМР с материалами; $\mathcal{E}$ – годовая экономия, руб./год, определяемая как разница между затратами при использовании электроэнергии от центральных сетей и собственной ГПУ.

В табл. 4 представлены сравнительные показатели, демонстрирующие экономическую целесообразность применения альтернативного источника электроэнергии для котельной «Центральная».

Таблица 1

Сравнение и окупаемость внедрения ГПУ

Наименование показателя	Значение показателя при потреблении электроэнергии	
	от центральных электросетей	от собственной ГПУ
Общие годовые затраты на электроэнергию, руб.	912088,32	380425,36
Стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч	6,5	2,71
Срок окупаемости проекта, лет	3,25	

Заключение.

Проведенные расчеты показали, что внедрение ГПУ в существующую котельную является экономически целесообразным. Полученное значение себестоимости вырабатываемой на базе газопоршневой установки электроэнергии почти в 2,5 раза меньше тарифа от централизованной электроснабжающей организации. Это позволит снизить затраты при производстве тепловой энергии и может способствовать снижению стоимости тарифа на тепловую энергию.

Приведенные анализы и расчеты могут использоваться для других котельных аналогичной мощности, с учетом существующей технической возможности подключения ГПУ к их оборудованию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Макаров, А. А.** Влияние роста цен на газ и электроэнергию на развитие экономики России / А. А. Макаров, Т. А. Митрова. – М.: Институт энергетических исследований РАН, 2013. – 35 с.
2. **Зуева, А. В.** Факторы, оказывающие влияние на рост тарифов и себестоимость электроэнергии/ А. В. Зуева// Учет, анализ и аудит: проблемы теории и практики. – 2014. – № 13. – С. 63-65.
3. **Бугров, С. А.** Повышение эффективности использования электроэнергии в котельных жилищно-коммунального комплекса / С. А. Бугров, А. М. Мамонов, А. А. Севостьянов // Вестник Нижегородского Государственного Инженерно-Экономического университета – 2016. – № 4(59). – С. 50-56.
4. **Гатина, Р. З.** Перспективы развития малой энергетики с использованием топливных элементов/ Р. З. Гатина, Н. М. Гафуров, Р. Р. Зайнуллин // Вестник Казанского Государственного Энергетического Университета – 2018. – Т. 10. – № 1. – С. 88-96.

5. **Суворов, М. Н.** Автономные источники электроснабжения с использованием газопоршневых установок в сельском хозяйстве: состояние и дальнейшее развитие / М. Н. Суворов // Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы IX международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Трушкина В. А. – Саратов, 2018. – С. 208-210

6. **Змиева, К. А.** Проблемы энергоснабжения арктических регионов / К. А. Змиева // Рецензируемый научный журнал «Российская Арктика». – 2020. – № 9(2). – С. 5-14.

7. **Аминов, Д. М.** Методы повышения энергоэффективности котельной / Д. М. Аминов, Р. А. Залалдинов // Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2016. – № 7. – С. 10-13.

8. **Воронина, М. А.** Преимущества газопоршневых установок / М. А. Воронина, А. В. Орлов // Научные исследования и современное образование: материалы международной научно-практической конференции. – Чебоксары, 2017 – С. 162-163.

9. **Седнин, В. А.** Перевод отопительных котельных в мини-ТЭЦ / В. А. Седнин, А. В. Седнин, А. А. Шимукович // Энергия и менеджмент. – 2006. – № 4. – С. 46-52.

10. **Мутугуллина, И. А.** Сравнительный анализ газопоршневой и газотурбинной установок в контексте решения проблем энергосбережения / И. А. Мутугуллина // Вестник Казанского Технологического Университета. – 2014. – Т.17 – №12. – С. 373-375.

Поступила в редакцию 31 марта 2021

TECHNICAL AND ECONOMIC RATIONALE OF A GAS-PISTON USE IN A MEDIUM-CAPACITY BOILER HOUSE

D. A. Emelyanov, P. A. Artamonov

Emelyanov Denis Alexandrovich, graduate student of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia, phone: +7(982)966-12-64; e-mail: deniska-emelyanov-96@mail.ru
Artamonov Pavel Alexandrovich, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia, phone: +7(922)475-40-73; e-mail: artamonovpa@tyuiu.ru

The problem of reducing cost of electricity consumption by the equipment of the central boiler house of medium capacity is considered. A promising direction in solving this problem is the use of an alternative source of electricity in the form of a gas-piston installation. Heat generating plants for district heating were designed taking into account the minimum electricity consumption and achieving reliability. We carried out the analysis of electricity consumption by the boiler house equipment with an installed capacity of 4.7 MW. The technical characteristics of the gas-piston plant selected as a new source of electricity were determined. As well we carried out technical and economic calculations of the cost of producing own electricity for the boiler house. The use of its own power source allows one to reduce the cost of electricity in comparison with the purchase from the central power grid. It is concluded that the use of its own alternative source of electricity for the boiler house is a profitable investment to reduce the financial burden on the heat supply organization and to reduce the cost of the heat energy tariff.

Keywords: alternative source; gas-piston power plant; cost of electricity; technical and economic rationale; heat supply; boiler houses.

REFERENCES

1. **Makarov A. A., Mitrova T. A.** *The impact of rising prices for gas and electricity on the*

development of the Russian economy. Moscow, Institute of Energy Research of the Russian Academy of Sciences. 2013. 35 p. (in Russian)

2. **Zueva A. V.** *Factors influencing the growth of tariffs and the cost of electricity*. Accounting, analysis and audit: problems of theory and practice. 2014. No. 13. Pp. 63-65. (in Russian)

3. **Bugrov S. A., Mamonov A. M., Sevostyanov A. A.** *Improving the efficiency of electricity using in boiler houses of the housing and communal complex*. Herald of the Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics. 2016. No. 4(59). Pp. 50-56. (in Russian)

4. **Gatina R. Z., Gafurov N. M., Zainullin R. R.** *Prospects for the development of small power engineering with the use of fuel cells*. Herald of the Kazan State Power Engineering University. 2018. Vol. 10. No. 1. Pp. 88-96. (in Russian)

5. **Suvorov M. N.** *Autonomous sources of power supply with the use of gas-piston installations in agriculture: state and further development*. Actual problems of power engineering of the agro-industrial complex. Materials of the IX International scientific and practical conference. Under the general editorship of Trushkin V. A. Saratov. 2018. Pp. 208-210. (in Russian)

6. **Zmieva K. A.** *Problems of energy supply in the Arctic regions*. Peer-reviewed scientific journal Russian Arctic. 2020. No. 9(2). Pp. 5-14. (in Russian)

7. **Aminov D. M., Zalalidinov R. A.** *Methods of improving the energy efficiency of the boiler house*. International Scientific Journal Innovative Science. 2016. No. 7. Pp. 10-13. (in Russian)

8. **Voronina M. A., Orlov A. V.** *Advantages of gas-piston installations*. Scientific research and modern education: materials of the international scientific and practical conference. Cheboksary. 2017. Pp. 162-163. (in Russian)

9. **Sednin V. A., Shimkovich A. A.** *Transfer of heating boilers to mini-thermal power plant*. Energy and management. 2006. No. 4. Pp. 46-52. (in Russian)

10. **Mutugullina I. A.** *Comparative analysis of gas-piston and gas-turbine installations in the context of solving energy saving problems*. Herald of the Kazan Technological University. 2014. Vol. 17. No. 12. Pp. 373-375.

Received 31 March 2021

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Емельянов, Д. А. Техничко-экономическое обоснование применения газопоршневой установки в котельной средней мощности / Д. А. Емельянов, П. А. Артамонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 106-113. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.011.

FOR CITATION:

Emelyanov D. A., Artamonov P. A. *Technical and economic rationale of a gas-piston use in a medium-capacity boiler house*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 106-113. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.011. (in Russian)

DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.012

УДК 625.084: 338.001.36

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПЛОТНЕНИЯ ПОКРЫТИЙ И ОСНОВАНИЙ ТРЕХВАЛЬЦОВЫМИ КАТКАМИ ТАНДЕМНОГО ТИПА

В. А. Нилов, В. А. Жулай, В. Л. Тюнин, А. Н. Щиенко

Нилов Владимир Александрович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры строительной техники и инженерной механики им. профессора Н.А. Ульянова, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473) 277-01-29; e-mail: vladnil1014@mail.ru

Жулай Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры строительной техники и инженерной механики им. профессора Н.А. Ульянова, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)277-01-29; e-mail: zhulai@vgasu.vrn.ru

Тюнин Виталий Леонидович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительной техники и инженерной механики им. профессора Н.А. Ульянова, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)277-01-29; e-mail: tuninvl@yandex.ru

Щиенко Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительной техники и инженерной механики им. профессора Н.А. Ульянова, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)277-01-29; e-mail: a.n.shienko@mail.ru

Приведено технико-экономическое обоснование повышения эффективности уплотнения покрытий и оснований за счет использования трехвальцевых дорожных катков тандемного типа. Выполнены расчеты, показывающие возможность последовательного увеличения вертикального нагружения вальцев катка по мере возрастания прочности уплотняемой поверхности в широких пределах (до 1,1 веса серийного катка) за счет применения дополнительной управляемой секции. Установлена возможность уменьшения числа проходов катка за счет увеличения количества его вальцев. Проведен технико-экономический расчет, подтверждающий целесообразность применения таких дорожных катков, выполненных на базе серийных двухвальцевых машин, которая обусловлена увеличением производительности в 1,27...1,5 раза.

Ключевые слова: технико-экономическое обоснование; дорожные основания и покрытия; уплотнение; дорожные катки.

Долговечность автомобильных дорог, определяемая сопротивляемостью дорожной одежды воздействию транспортных нагрузок и климатических факторов, во многом зависит от качества ее уплотнения. Эффективность уплотнения зависит от массы катка, площади контакта рабочего органа с уплотняемым слоем, скорости движения катка и числа проходов катка по одному следу. Единственный способ регулировать статическую нагрузку, передаваемую на поверхность, состоит в изменении массы или контактной площади рабочего органа, что обеспечивается использованием катков различных типоразмеров.

Для обеспечения необходимой плотности асфальтобетонного покрытия или щебеночного основания автомобильных дорог в настоящее время количество проходов катка по одному следу регламентировано соответствующими нормативными документами [1, 2]. При этом общеизвестно, что производительность катка обратно пропорциональна количеству его проходов по одному следу [3...7].

$$\Pi = \frac{L \cdot (B - A) \cdot H_o \cdot K_b}{\left(\frac{L}{V} + t\right) \cdot n}, \quad (1)$$

где L – длина укатываемого участка, м; B – ширина укатываемой полосы, м; A – величина

перекрытия, м ($A=0,2$ м); H_o – оптимальная толщина укатываемого слоя, м; K_b – коэффициент использования рабочего времени ($K_b=0,85$); V – рабочая скорость катка, м/ч; t – время, затрачиваемое на разворот катка в конце участка, ч ($t = 0,02$ ч); n – необходимое число проходов катка.

При выполнении операции уплотнения покрытия или основания за один проход в одном направлении каждый валец двухвальцевого катка (рис 1, а) дважды воздействует на каждый элемент поверхности, т.е. $2n_2$ раз. При трех вальцах, например, каток ДУ-49 или Д-178Б (рис. 1, б), таких воздействий при одном проходе будет уже три – n_3 .

а)



б)



Рис. 1. Катки моторные: а – двухвальцевый; б – трехвальцевый

Для достижения заданной плотности уплотняемой поверхности [1] для трехвальцевого катка количество необходимых, силовых воздействий вальцев сохраняется ($2n_2$), но число проходов для достижения заданной плотности уменьшается и составляет:

$$n_3 = n_{\text{нов}} = \frac{(2n_2)}{3}, \quad (2)$$

где n_2 – необходимое число проходов двухвальцевого катка по одному следу; n_3 – необходимое число проходов трёхвальцевого катка по одному следу.

Уменьшение необходимого числа проходов для трехвальцевого катка свидетельствует об увеличении производительности (при прочих равных условиях), которую можно рассчитать по зависимостям:

$$\frac{\Pi_{\text{нов}}}{\Pi_{\text{баз}}} = \frac{n_{\text{баз}}}{n_{\text{нов}}} \quad \text{или} \quad \Pi_{\text{нов}} = \Pi_{\text{баз}} \cdot \left(\frac{n_{\text{баз}}}{n_{\text{нов}}} \right). \quad (3)$$

В табл. 1 приведены результаты расчета числа проходов и увеличения производительности для новых трехвальцевых катков.

Выполненные расчеты показывают простой путь существенного увеличения технической производительности дорожных катков вне зависимости от их массы и типа вальца. Интересно отметить, что при уплотнении асфальтобетона увеличение производительности составляет 1,5 раза, а при уплотнении грунтовых массивов увеличение производительности ещё больше – до 3 раз [8...11].

Известно также, что эффективность уплотнения поверхности зависит не только от числа проходов катка по одному следу, но и от величины силового воздействия каждого вальца на поверхность. Причем последнее определяется массой катка (легкие, средние и тяжелые) и расположением его центра тяжести по продольной базе [12, 13]. Выполненные исследования позволяют обосновать целесообразность создания трехвальцевых дорожных катков тандемного типа. На кафедре «Строительной техники и инженерной механики» имени профессора Н.А. Ульянова ВГТУ в настоящее время выполняются такие научные и проектно-конструкторские работы [11, 12].

Таблица 1

Число проходов катка в зависимости от количества вальцов
и вида уплотняемой поверхности

Параметры	Вид уплотняемой поверхности				
	Асфальтобетон (слой верхний и нижний)	Грунт			
		несвязный		связный	
		Валец			
		Жесткий	Пневма- тический	Жесткий	Пневматиче- ский
Катки с двумя вальцами					
Число проходов катка, $n_{\text{баз}}$	8...10	4...6	3...4	10...12	5...6
Количество воздей- ствий на 1 валец	16...20	8...12	6...8	20...24	10...12
Катки с тремя вальцами					
Число проходов катка, $n_{\text{нов}}$	5,3...6,6	2,6...3	2...2,6	6,6...8	3,3...4
Увеличение производительности $n_{\text{баз}}/ n_{\text{нов}}$	1,5...1,51	3...4	3...3	3...3	3...3,3

Установка на серийном двухвальцевом катке дополнительного вальца открывает новые возможности для увеличения силового воздействия на уплотняемую поверхность. Реализующий эту идею способ управления вертикальными нагрузками на вальцы катка разработан и представлен на рис. 2.

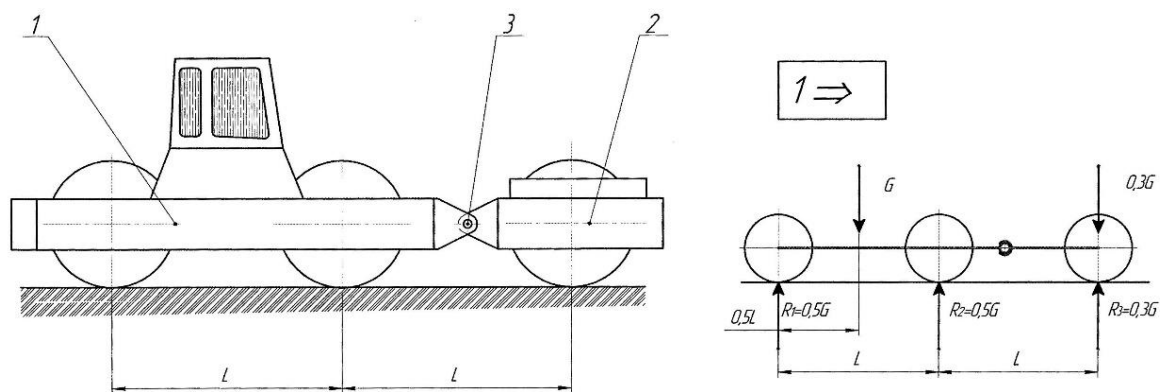


Рис. 2. Установка дополнительного вальца, первый проход:
1 – серийный каток; 2 – дополнительная секция; 3 – соединение секций

Подъем или опускание дополнительного вальца 2 (а также рациональный выбор его веса) позволяют изменять вертикальные нагрузки на вальцы нового катка (рис. 3, 4, табл. 2) и организовать рабочий процесс таким образом, что вертикальная нагрузка на уплотняемую поверхность будет увеличиваться вслед за повышением прочности асфальтобетона. При этом число проходов катка с фиксированной нагрузкой на валец не ограничено.

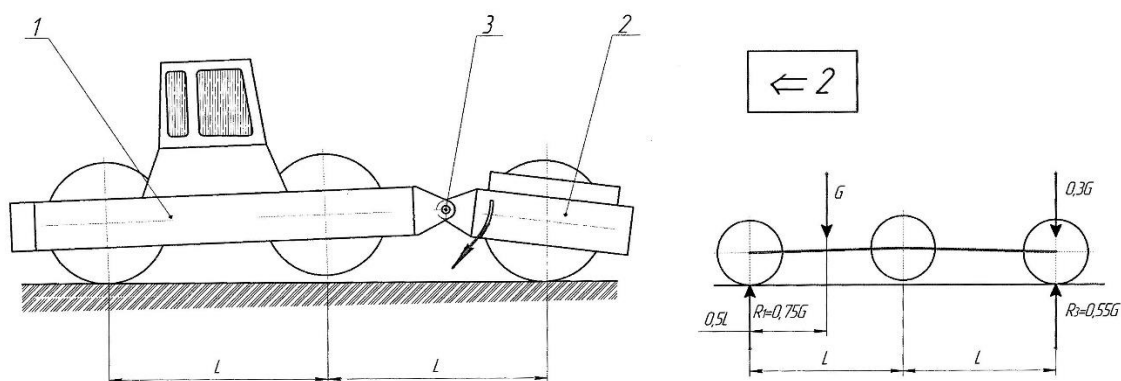


Рис. 3. Второй проход (назад) с увеличенной вертикальной нагрузкой на внешние вальцы

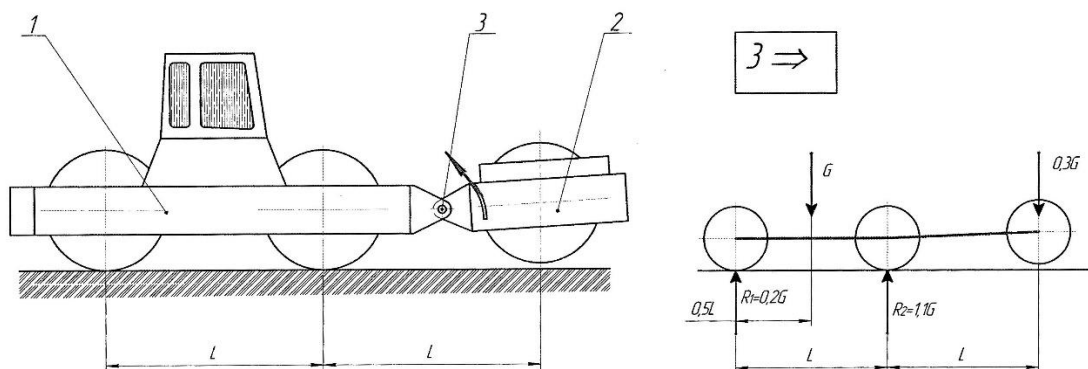


Рис. 4. Третий проход с максимальной вертикальной нагрузкой на средний валец

Такая технология полностью соответствует научному требованию уплотнения дорожных оснований и покрытий – увеличение вертикального воздействия по мере возрастания прочности поверхности [4] и будет способствовать дополнительному увеличению производительности катков.

Таблица 2

Изменение вертикальных нагрузок
на вальцы трехвальцевого катка на базе серийного катка ДУ-84

Проход	Вертикальная нагрузка на валец		
	Левый	Средний	Дополнительный
1	$0,5G/70$ кН	$0,5G/70$ кН	$0,3G/42$ кН
2	$0,75G/70,5$ кН	-	$0,55G/77$ кН
3	$0,2G/28$ кН	$1,1G/154$ кН	-

Расчеты показывают, что новый трехвальцевый каток обеспечивает последовательное увеличение вертикальной нагрузки на валец с $0,3 G$ до $1,1 G$ (G – это вес серийного двухвальцевого катка).

Каток ДУ-84 имеет вес 14 кН и обеспечивает вертикальную нагрузку на каждый валец 70 кН [13]. Для реализации такой вертикальной нагрузки серийный каток, на базе которого можно создать трехвальцевый каток, должен иметь эксплуатационный вес $G_1=70/1,1=63,6$ кН. Близкими параметрами обладают серийные катки ДУ-97 и RV-7GS-01, имеющие конструктивный и эксплуатационный вес 65 кН и 75 кН соответственно. Применяя модульный принцип проектирования можно сравнить параметры серийного катка ДУ-84 и нового

трехвальный катка на базе этих серийных катков (табл. 3). На рис. 5 показаны схемы этих машин.

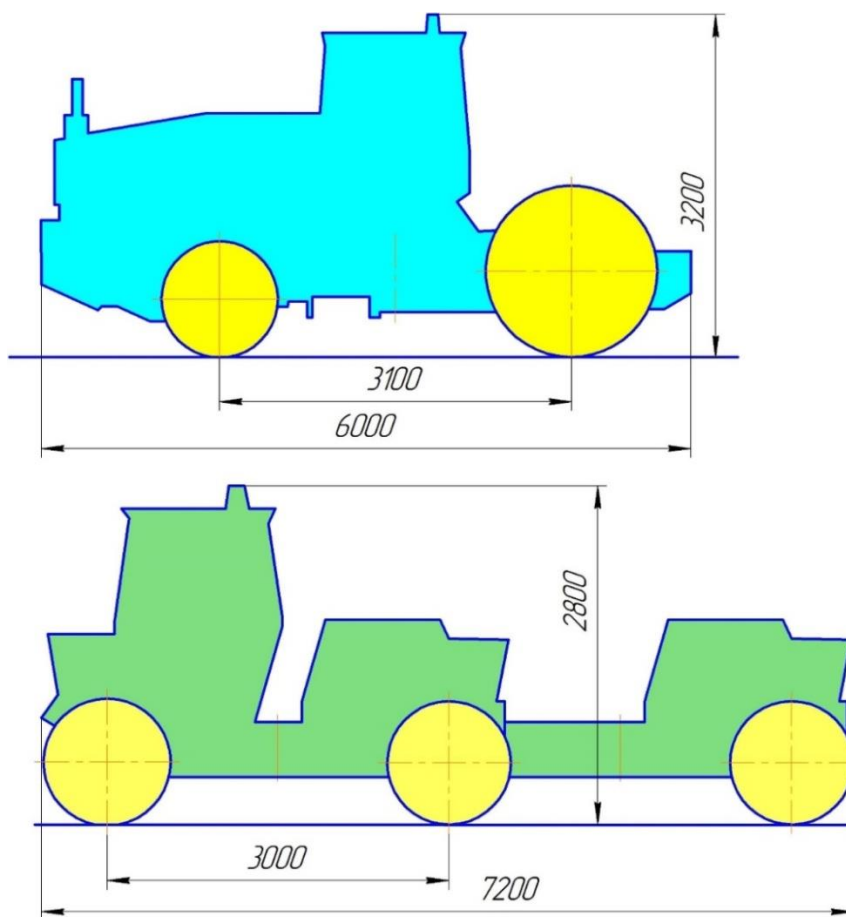


Рис. 5. Схемы серийного катка ДУ-84 и нового трехвального катка

Модульный принцип формирования нового катка на базе серийного связан с расчетом на прочность переходного элемента – плиты. Расчет выполнен для трехвального катка на базе серийного катка ДУ-84 в программе Компас, подпрограмма АРМ FEM. Шаг создания сетки 20 мм, материал – сталь 20. Результаты расчета приведены на рис. 6.

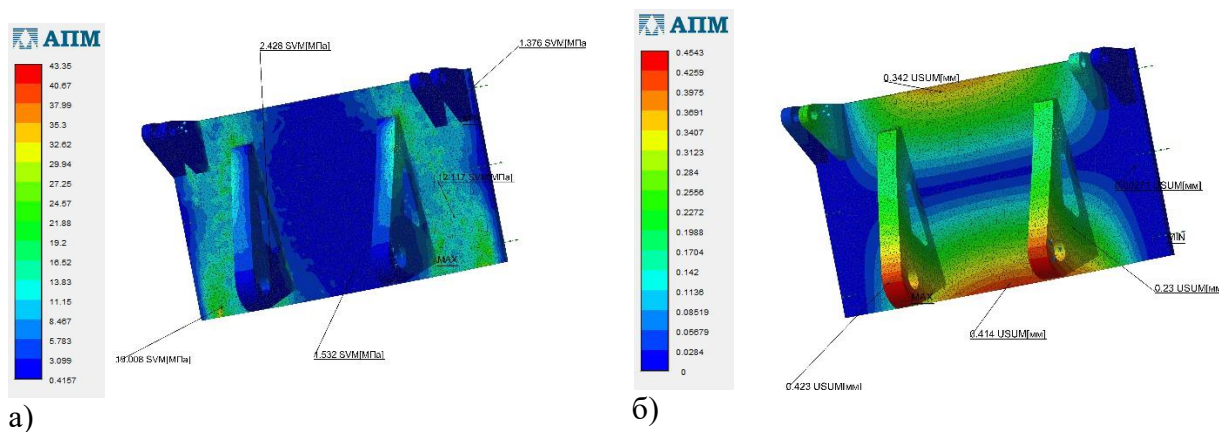


Рис. 6. Суммарные напряжения (а) и перемещения (б) в переходной плите

Расчет на прочность показывает, что в переходной плите суммарные напряжения и перемещения являются незначительными, что обеспечивает формирование трехвального катка на базе серийных катков ДУ-84.

Таблица 3

Параметры серийного и новых трехвальных катков

Тип катка	Вес, кН	Мощность двигателя, кВт	Ширина полотна, м	Производительность, %	Максимальная нагрузка на валец, кН	Экономия, %	
						Вес	Мощность
Серийный двухвальный каток							
ДУ-84	140	110	2,0	100	70	-	-
Трехвальные катки на базе							
RV-7DS-01	97,5	~ 80	1,7	127	77	30	27,2
ДУ-84	182	~120	2,0	150	154	-	-

Предварительные расчеты для новых трехвальных катков показывают их высокие технико-экономические показатели. При практически одинаковой максимальной нагрузке на валец новый каток на базе серийного катка RV-7DS-01 имеет на 30 % меньший вес и на 27,2 % меньшую мощность двигателя. Трехвальный каток на базе серийного катка ДУ-84 обеспечивает увеличение производительности в 1,5 раза и значительно большую (в 1,1 раза) вертикальную нагрузку на валец, достигающую 154 кН (что соответствует только *половинной* нагрузке на заднюю ось тяжелых катков ВК-24.01.02 с колесной формулой 3×3 и МоАЗ-644428-09880 с колесной формулой 3×2 [13]).

Проведенные расчеты технико-экономических показателей трехвального катка на базе серийного катка ДУ-84 показали, что при затратах на модернизацию равных 1438800 руб. (30 % стоимости базовой машины ДУ-84) и повышении ее производительности на 50 % далее следующие результаты.

Годовые текущие затраты, включающие в себя амортизационные отчисления на полное восстановление; зарплату оператора катка; стоимость топлива; затраты на все виды ТО и ремонтов; затраты на гидравлические жидкости и смазочные материалы; стоимость расходных запчастей; затраты на перебазировку машины составили: по базовой технике $C_{\text{баз}} = 5142176$ руб. и по новой технике $C_{\text{нов}} = 5399430$ руб.

Удельные приведенные затраты на единицу продукции определяются по формуле

$$Z = \frac{(C + E_n \cdot K)}{B}, \quad (4)$$

где C – годовые текущие затраты, руб./год; E_n – нормативный коэффициент эффективности (ставка дисконта); $E_n = 0,15$; K – объем затрат потребителя, связанных с приобретением техники, руб.; B – годовая эксплуатационная производительность, ед. прод. год;

$$Z_{\text{баз}} = \frac{(5142176,8 + 0,15 \cdot 4796000)}{5426112} = 1,08 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{нов}} = \frac{(5399430 + 0,15 \cdot 6234800)}{8139168} = 0,77 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект от эксплуатации трехвального дорожного катка тандемного типа на базе серийного катка ДУ-84 определяется как разность полезных приведенных затрат по сравниваемым вариантам машин

$$\Delta\Phi_{\text{год}} = (Z_{\text{баз}} - Z_{\text{нов}}) \cdot B_{\text{нов}}, \quad (5)$$

где $Z_{\text{баз}}$ и $Z_{\text{нов}}$ – удельные приведенные затраты по сравниваемым вариантам, т. руб./ед. прод.; $B_{\text{нов}}$ – годовая эксплуатационная производительность новой техники, ед. прод.;

$$\Delta\Phi_{\text{год}} = (1,08 - 0,77) \cdot 8139168 = 2523142 \text{ руб.}$$

В настоящее время важным показателем является экономия топлива, которую можно оценить по величине ее удельного расхода с помощью следующей зависимости

$$T_{уд} = \frac{W_{т(э)} \cdot T_{г}}{B}, \quad (6)$$

где $W_{т}$ – часовой расход топлива, кг.

Для сравниваемых машин он составляет

$$T_{уд.баз} = \frac{23,71 \cdot 2826,1}{5426112} = 0,012 \text{ кг / м}^2;$$

$$T_{уд.нов} = \frac{23,71 \cdot 2826,1}{8139168} = 0,008 \text{ кг / м}^2.$$

Т.е. у предлагаемого дорожного катка он на 1/3 меньше, чем у базовой машины. Следовательно, годовая экономия топлива при использовании модернизированной машины составит%

$$\Delta T = (0,012 - 0,008) \cdot 8139168 = 32556,7 \text{ кг}.$$

Таким образом, проведенные расчеты основных технико-экономических показателей работы трехвальцевого дорожного катка тандемного типа подтвердили высокую эффективность его применения для уплотнения дорожных оснований и одежд.

Заключение.

Предложенная технология уплотнения покрытий и оснований с использованием трехвальцевых катков с управляемыми вертикальными нагрузками на его вальцы, обеспечивающей последовательное увеличение вертикальной нагрузки на вальцы с 0,3 G до 1,1 G (веса серийного двухвальцевого катка) позволяет сократить номенклатуру применяемых машин и увеличить производительность в 1,27...1,5 раза.

Применение дорожных катков с большим количеством вальцев уменьшает число проходов и существенно увеличивает производительность катка.

Использование трехвальцевых дорожных катков тандемного типа для уплотнения дорожных оснований и одежд обеспечивает значительный экономический эффект и существенное снижение расхода топлива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Коган, Р. А.** Стандарт организации. Автомобильные дороги. Строительство земляного полотна автомобильных дорог. Часть 1. Механизация земляных работ при сооружении земляного полотна автомобильных дорог / Р. А. Коган, О. Б. Гопин, И. В. Басурманова. – М.: СТО НОСТРОЙ 2.25.23-2011, 2012. – 67 с.
2. **Методические рекомендации по укладке и уплотнению асфальтобетонных смесей различного типа при использовании высокопроизводительных асфальтоукладчиков и катков** / Б. С. Барышев [и др.]. – М.: Союздорнии, 1984. – 10 с.
3. **Машины для землеройных работ** (Теория и расчет) / Т. В. Алексеева [и др.] – М.: Машиностроение, 1972. – 504 с.
4. **Машины для земляных работ** / Под общей ред. Ветрова Ю.А. – М.: Издательское объединение «Вища школа», 1976. – 368 с.
5. **Hunter, R.** Asphalt in road construction / R. Hunter. – London, United Kingdom: ICE Publishing, 2004. – 588 p.
6. **Rietman, A. D.** The modeling of compression tests with a physically based material model using finite elements / A. D. Rietman, P. Liempt, H. Huetink // Fifth International Conference on Computational Plasticity, 17-20 March 1997, Barcelona, Spain. – Barcelona, 1997. – Pp. 965-972.

7. **Jacobus J. Rautenbach** Impact roller. pat. US4334799A (US): B28D1/181, E02D3/026 / Jacobus J. Rautenbach, Aletta C. Rautenbach : Rautenbach Jacobus J. – № US 06/123596; Appl. 22.02.1980; – Publ. 15.06.1982.

8. **Федоров, Е. В.** Исследование влияния количества вальцев катка на его производительность / Е. В. Федоров, А. И. Кретинин, Я. И. Ручкин // Научно-технический журнал «Высокие технологии в строительном комплексе» – 2019. – № 2. – С. 119-124.

9. **Кузнецова, А. Ж.** Влияние положения центра тяжести на динамику самоходных вибрационных катков : автореф. дис. ... канд. техн. наук. : 05.05.04 / А. Ж. Кузнецова ; Тюменская государственная архитектурно-строительная академия. – Тюмень, 2001. – 22 с.

10. **Бойцев, А. В.** Методика обоснования параметров вальцов дорожного катка с изотропным силовым воздействием на асфальтобетонную смесь: дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / Андрей Владимирович Бойцев. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого – СПб., 2017. – 142 с.

11. **Нилов В. А., Жулай В. А.** Каток моторный трехвальцевый. пат. №2729215 (Российская Федерация), МПК E01C 19/26. патентообладатель «Воронежский государственный технический университет». – № 2020101239; заявл. 10.01.2020; опубл. 05.08.2020, Бюл. № 22.

12. **Нилов, В. А.** Комбинированная ножевая система скрепера / В. А. Нилов, Е. В. Федоров // Строительные и дорожные машины. – 2015. – № 4. – С. 13 – 16.

13. **Дорожные катки: развитие, конструкция, расчет:** учеб. пособие / В. И. Баловнев [и др.]; под общ. ред. проф. В. И. Баловнева и проф. С. Н. Иванченко. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. – 216 с.

Поступила в редакцию 20 мая 2021

HIGHWAY IMPACT STUDY OF THE EFFICIENCY OF COATING AND BASE COMPACTION WITH THREE-ROLLER TANDEM COMPACTORS

V. A. Nilov, V. A. Zhulay, V. L. Tyunin, A. N. Shchiyenko

Nilov Vladimir Aleksandrovich, Dr. Sc. (Tech.), Professor, Professor of the Department of Construction Technology and Mechanical Engineering named after Professor N.A. Ulyanov, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(473)277-01-29; e-mail: vladnil1014@mail.ru

Zhulay Vladimir Alekseyevich, Dr. Sc. (Tech.), Professor, Professor of the Department of Construction Technology and Mechanical Engineering named after Professor N.A. Ulyanov, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(473)277-01-29; e-mail: zhulai@vgasu.vrn.ru

Tyunin Vitaliy Leonidovich, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction Technology and Mechanical Engineering named after Professor N.A. Ulyanov, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(473)277-01-29; e-mail: tuninvl@yandex.ru

Shchiyenko Aleksey Nikolayevich, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction Technology and Mechanical Engineering named after Professor N.A. Ulyanov, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(473)277-01-29; e-mail: a.n.shienko@mail.ru

We present a highway impact study for increasing efficiency of compaction of coatings and bases through the use of three-roller tandem compactors. Calculations have been performed showing the possibility of a sequential increase in the vertical loading of the rollers of a compactor as the strength of the compacted surface increases over a wide range (up to 1.1 of the weight of a serial compactor) due to the use of an additional controlled section. The possibility of reducing the number of passes of the compactor by increasing the number of its rollers has been established. A technical and economic calculation was carried out confirming the feasibility of using such road compactors made on the basis of serial two-roller tandem compactors, which is due to an increase in productivity by 1,27...1,5 times.

Keywords: highway impact study; road bases and pavements; compaction; road compactors.

REFERENCES

1. **Kogan R. A, Gopin O. B, Basurmanova I. V.** *Organization standard. Car roads. Construction of road bed of highways. Part 1. Mechanization of earthworks during the construction of road bed of highways.* Moscow, STO NOSTROY 2.25.23-2011. 2012. 67 p. (in Russian)
2. **Baryshev B. S.** *Guidelines for laying and compaction of asphalt concrete mixtures of various types when using high-performance asphalt pavers and rollers.* Moscow, Soyuzdornii, 1984. 10 p. (in Russian)
3. **Alekseeva T. V.** *Machines for earth-moving work (Theory and calculation).* Moscow, Mashinostroenie. 1972. 504 p. (in Russian)
4. *Machines for earthworks.* Edited by Yu. A. Vetrov Moscow, Publishing Association Vishcha Shkola. 1976. 368 p. (in Russian)
5. **Hunter R.** *Asphalt in road construction* / London, United Kingdom ICE Publishing. 2004. – 588 p.
6. **Rietman A. D., Liempt P., Huetink H.** *The modeling of compression tests with a physically based material model using finite elements.* Fifth International Conference on Computational Plasticity, 17-20 March 1997, Barcelona, Spain. Barcelona. 1997. Pp. 965-972.
7. **Jacobus J. Rautenbach, Aletta C. Rautenbach.** *Impact roller.* pat. US4334799A (US): B28D1/181, E02D3/026 / Jacobus J. Rautenbach, Aletta C. Rautenbach : Rautenbach Jacobus J. – № US 06/123596; Appl. 22.02.1980; – Publ. 15.06.1982.
8. **Fedorov E.V, Kretinin A. I, Ruchkin Ya. I.** *Investigation of the influence of the number of rollers on a skating rink on its productivity.* Scientific and technical journal High technologies in the construction complex. Voronezh. 2019. No. 2. Pp. 119-124. (in Russian)
9. **Kuznetsova A. Zh.** *The influence of the position of the center of gravity on the dynamics of self-propelled vibratory rollers.* Tyumen. 2001. 22 p. (in Russian)
10. **Boytsov A. V.** *Method of substantiating the parameters of road rollers with isotropic force action on the asphalt concrete mixture.* St. Petersburg. 2017. 142 p. (in Russian)
11. **Nilov V. A., Zhulay V. A.** *Three-roll motor skating rink.* pat. No. 2729215 (Russian Federation), IPC E01C 19/26. Patent holder Voronezh State Technical University. - No. 2020101239; declared 01/10/2020; publ. 08/05/2020, Bul. No. 22. (in Russian)
12. **Nilov V. A., Fedorov E. V.** *Combined scraper knife system.* Construction and road machines. 2015. No. 4. Pp. 13-16. (in Russian)
13. **Balovnev V. I.** *Road rollers: development, design, calculation.* Allowance. Khabarovsk, Pacific Publishing House. State University. 2016. 216 p. (in Russian)

Received 20 May 2021

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Нилов, В. А. Техничко-экономическое обоснование эффективности уплотнения покрытий и оснований трехвальцовыми катками тандемного типа / В. А. Нилов, В. А. Жулай, В. Л. Тюнин, А. Н. Щиенко // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 3(18). – С. 114-122. – DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.012.

FOR CITATION:

Nilov V. A., Zhulay V. A., Tyunin V. L., Shchiyenko A. N. *Highway impact study of the efficiency of coating and base compaction with three-roller tandem compactors.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 3(18). Pp. 114-122. DOI 10.36622/VSTU.2021.18.3.012. (in Russian)

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ **WRITING RULES AND GUIDELINE**

Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства. Периодичность издания – 4 раза в год.

Издание включено в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук с 22.12.2020 г.

Статьи в журнале публикуются бесплатно.

Осуществляется подписка на журнал «Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура». Подписной индекс «Объединенный каталог. Пресса России» – **81025**.

Отдельные экземпляры журнала можно приобрести в редакции по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ВГТУ, кафедра жилищно-коммунального хозяйства, каб. 1321.

О наличии необходимого номера можно узнать по телефону +7(473)271-28-92 или по e-mail: vstu.gkh@gmail.com.

Рукопись представляется в редакцию *на русском языке*. В том случае, если зарубежные авторы присылают статьи *на английском языке*, необходимо предоставить *точный перевод на русский язык*.

К публикации принимаются материалы статьи, в которых приводятся результаты собственных научных (теоретических и/или экспериментальных) исследований авторов (кроме обзорных статей), соответствующие по своей тематике профилю и тематическим направлениям журнала.

Материалы статьи принимаются в электронном виде на адрес редакции vstu.gkh@gmail.com. Автор присылает:

- ✓ файл текста статьи;
- ✓ отсканированная последняя страница с датой отправки статьи и подписями всех авторов (рядом с подписью указывается фамилия и инициалы автора);
- ✓ экспертное заключение о возможности открытого опубликования, заверенное печатью и подписью ответственного лица.

После принятия статьи к публикации автор высылает оригинал рукописи в редакцию журнала по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ком. 1321, Воронежский государственный технический университет, кафедра жилищно-коммунального хозяйства.

Об отказе в публикации статьи по формальным признакам авторы информируются редакцией по электронной почте с изложением причины отказа.

Требования к оформлению статьи

Рукопись должна готовиться в редакторе Microsoft Word для Windows (версии от XP до Word 97/10). Текст набирают шрифтом Times New Roman размером 12 пт с межстрочным интервалом 1, абзацный отступ 1 см. Размер листа А4; поля: левое – 3 см, правое – 1,5 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2,5 см. Нумерация страниц не требуется. Объем рукописи – от 5 до 10 страниц, включая иллюстрации, таблицы, библиографический список и сведения об авторах.

Структура статьи:

русскаяязычная часть:

- ✓ **индекс УДК** – в левом верхнем углу, прописными буквами (шрифт 12 пт, обычный);
- ✓ **название статьи** – прописными буквами с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **инициалы, фамилии авторов**, с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **сведения об авторах**: последовательно для каждого – фамилия, имя, отчество, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почётные звания не указывать), должность, наименование учреждения, в котором работает автор, город, страна, контактный телефон; e-mail автора, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);
- ✓ **аннотация** объемом от 200 до 250 слов, выравнивание по ширине, отступ слева и справа 1 см (шрифт 11 пт, обычный);

✓ **ключевые слова** от 5 до 12 слов, указывающие на принципиально важные объекты и особенности исследования, отделяются друг от друга точкой с запятой, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **текст статьи** (в тексте статьи должны быть отражены: актуальность проблемы, оценка степени ее разработанности, цели, задачи и методы решения научной задачи, полученные результаты). В конце статьи обязательно приводится **заключение**.

При оформлении текста статьи следует придерживаться следующих требований:

✓ русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) в тексте, формулах, подписях к рисункам и в таблицах набираются прямым шрифтом; латинские буквы – курсивом;

✓ в статье должен быть необходимый минимум формул, которые:

❖ следует набирать шрифтом Times New Roman в редакторе формул MS Equation или MathType;

❖ начинать с красной строки;

❖ располагать по центру и нумеровать арабскими цифрами в скобках у правого края страницы;

❖ ссылки на формулы в тексте – арабскими цифрами в скобках;

✓ рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и добавлены в текст после первого упоминания;

✓ до и после рисунка и таблицы необходимо сделать пробел (шрифт 12 пт);

✓ иллюстрации представляются в редакцию

❖ в виде отдельных файлов (рисунков и фотографий), записанных с расширением .TIFF или .JPEG; линии чертежа – не тоньше 1 пт; иллюстрации, в том числе фотографии, должны иметь хорошую проработку деталей;

❖ подписи к рисункам нумеруются и располагаются под ними, выравнивание текста по центру (шрифт 10 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ таблицы оформляются следующим образом:

❖ шрифт выбирается автором самостоятельно с учетом возможности качественного чтения текста;

❖ наименования в таблицах даются полностью, без сокращения слов;

❖ номер таблицы располагается отдельно, выравнивание текста по правому краю (шрифт 10 пт, обычный);

❖ название таблицы размещается над таблицей, выравнивание текста по центру (шрифт 11 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**, составляемый по следующим правилам;

❖ список используемой литературы должен включать не менее 10 источников;

❖ шрифт 12 пт, выравнивание текста по ширине, абзацный отступ 1 см;

❖ в список включаются *только опубликованные работы*, в порядке упоминания в статье; ссылки на них в тексте статьи даются арабскими цифрами в квадратных скобках;

❖ в списке не должно быть нормативных документов (ГОСТ, СП, технических регламентов, правовых актов и т.п. неавторизованных источников) – ссылки на них даются в тексте статьи в развернутом виде или в форме подстраничных сносок;

❖ библиографические описания оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003; включенные в текст статьи или подстраничные библиографические ссылки следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008;

❖ ссылки на интернет-сайты не допускаются; для статей из зарегистрированных *электронных журналов* указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, выходные данные выпуска, адрес сайта журнала и дата обращения к электронному ресурсу;

англоязычная часть:

✓ **название статьи;**

✓ **инициалы, фамилии авторов**, выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);

✓ **сведения об авторах** – последовательно для каждого: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученые звания, должность, название организации (учреждения), города, страны, контактный телефон; e-mail автора; выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **аннотация:** перевод, идентичный русскому варианту;

✓ **ключевые слова** (Keywords);

✓ **библиографический список** (REFERENCES).



ISSN 2541-9110



9 772541 911039