

ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 4(11), 2019

Воронежский государственный технический университет



*Строительные конструкции,
здания и сооружения*

*Экология и безопасность
городской среды*

*Градостроительство.
Реконструкция, реставрация
и благоустройство*

*Экономика и организация
строительства*

*Инженерные системы
и коммуникации*

*Дорожно-транспортное
хозяйство
и строительная техника*

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 4(11), 2019

**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»**

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

Выходит 4 раза в год

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



**Scientific journal
Voronezh State Technical University
Housing
and utilities infrastructure**

Published 2017

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

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

Comes out 4 times per annum

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 the permission of the publisher is prohibited, links to journal when quoting.

Voronezh

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель – Колодяжный Сергей Александрович, ректор (Воронежский государственный технический университет)

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

Редакционная коллегия:

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)

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

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

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

Лутовац Митар, академик, д-р, профессор университета (Union Belgrade, г. Белград, Сербия)

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

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)

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)

Кармазин Ю. И., д-р архитектуры, профессор (Воронежский государственный технический университет)

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

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

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

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

Пушкарев А. Э., д-р техн. наук, профессор (Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова)

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)

Сидоренко В. Ф., д-р техн. наук, профессор (Волгоградский государственный технический университет)

Синеева Н. В., канд. техн. наук, доцент, декан инженерно-экологического факультета (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет)

Столобушкин 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)

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

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

Jorg Rainer Noenning, профессор, факультет архитектуры (Технический университет Дрездена, Германия)

Lam Cao Van, Prof., Dr. of Sn., Da Nang University of Technology, Danang, Vietnam

Le Van Chung, Prof., Dr. of Sn., Military Technical Academy, Hanoi, Vietnam

Nguyen Phuong Ngoc, Prof., Dr. of Sn., Hanoi University of Architecture, Vietnam

Nguyen Van Long, Prof., Dr. of Sn., Ho Chi Minh City University of Transport, Ho Chi Minh, Vietnam

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* Шмелев Г. Д.

Дата выхода в свет 16.12.2019. Усл. печ. л. 12,4. Формат 60×84/8. Тираж 500 экз. Заказ № 234

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 COUNCIL

The Head – Kolodyazhnyi Sergey Aleksandrovich, rector (Voronezh State Technical University)

Editor-in-Chief – Yaremenko Sergey Anatolevich, dean of the faculty of engineering systems and structures (Voronezh State Technical University)

Editorial Board:

Sazonov E. V., Prof., Dr. of Sn., Deputy chief editor (Voronezh State Technical University)

Barannikov N. I., Prof., Dr. of Sn., Deputy chief editor (Voronezh State Technical University)

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

Blekh E. M., Dr. of Sn., Prof. (Institute Branch Management RANEPa), Moscow

Kas'yanov V. F., Dr. of Sn., 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 (NRU MSUCE), Moscow

Korol' E. A., Dr. of Sn., Prof., corresponding member of RAACN, honored Builder of Russia, the academician of RIA, member of ROIS (Moscow State University of Civil Engineering)

Lutovac Mitar, academician, Dr. of Sn. Prof. University (Union Belgrade, Belgrade, Serbia)

Mailyan L. R., Dr. of Sn., Prof., corresponding member of RAASN, Rostov-on-Don

Bodrov M. V., Dr. of Sn., Prof. (Nizhny Novgorod state University of Architecture and Construction)

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

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

Ziganshin A. M., PhD. tech. Sciences, associate Professor, Deputy Director on scientific work of Institute of building technology and environmental engineering systems (Kazan State University of Architecture and Civil Engineering)

Ezhov V. S., Dr. of Sn., Prof. (South-West State University, Kursk, Russia)

Karmazin Y. I., Dr. of Sn., Prof. (Voronezh State Technical University)

Kobelev N. S., Dr. of Sn., Prof. (South-West State University, Kursk, Russia)

Kozlov V. A., Dr. Phys.-math. Sciences, Professor (Voronezh State Technical University)

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

Oparina L. A., Dr. of Sn., associate Professor (Ivanovo State Polytechnic University)

Pushkarev A. E., Dr. of Sn., Prof. (Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov)

Romanova A. I., Dr. of Sn., Prof., Director Institute of Continuing Professional Education, Corresponding Member International Academy of Investments and Construction Economics, Honorary Worker Higher Professional Education of Russian Federation, Kazan

Savin K. N., Dr. of Sn., 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)

Sidorenko V. F., Dr. of Sn., Prof. (Volgograd State Technical University)

Sineeva N. V., PhD. tech. Sciences, associate Professor, Dean of faculty of environmental engineering (Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering)

Stolobushkin A. Yu., Dr. of Sn., Prof. (Siberian State Industrial University, Novokuznetsk)

Uvarov V. A., Dr. of Sn., Prof. (Belgorod Shukhov State Technological University)

Shibaeva M. A., Dr. of Sn., Prof. (Voronezh State Technical University)

Eviev V. A., Dr. of Sn., Prof., Dean of engineering-technological faculty (Calmic State University, Elista)

Jorg Rainer Noenning, Professor, faculty of architecture (Technical University of Dresden, Germany)

Lam Cao Van, Prof., Dr. of Sn., Da Nang University of Technology, Danang, Vietnam

Le Van Chung, Prof., Dr. of Sn., Military Technical Academy, Hanoi, Vietnam

Nguyen Phuong Ngoc, Prof., Dr. of Sn., Hanoi University of Architecture, Vietnam

Nguyen Van Long, Prof., Dr. of Sn., Ho Chi Minh City University of Transport, Ho Chi Minh, Vietnam

Executive Secretary – Zherlykina Mariya Nikolaevna, Cand. tech. Sciences, associate Professor of the Department of housing and communal services (Voronezh State Technical University)

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

Cover design Yakubenko A. V. Photo cover Shmelev G. D.

Date of publication 16.12.2019. Conventional printed sheets 12,4. Format 60×84/8. Circulation 500 copies. Order 234

Registration certificate ПИ № ФС 77 – 69631

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

Price free

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

Printed: department operative polygraphy publishings VSTU
84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russian Federation

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Лебедева А. В., Тумаков С. А.

Влияние температурно-климатических воздействий на напряженно-деформированное состояние монолитного железобетонного каркаса здания.....9

Глухов В. С., Гаврилов П. К.

Расчёт осадки комбинированных фундаментов с учётом нелинейных деформаций грунтового основания15

Фабричная К. А., Фаррахова Ч. Ф.

Исследование напряженно-деформированного состояния узла сталежелезобетонного каркаса здания в ПК ANSYS25

Баркая Т. Р., Гавриленко А. В., Соколов С. А., Цыбина Р. З.

Экспериментальное исследование прочности, податливости и деформативности опрессованных стыков арматуры.....36

Глухова М. В., Глухов В. С.

Учет нелинейной деформации грунта при осадке свай в пробитых скважинах с уширением.....45

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

Паршаков И. А., Сазонова С. А.

Обоснование выбора метода балластирования трубопровода в сезоннопромерзающих грунтах53

Лобанов Д. В., Исаева Е. С., Лобанова Е. А., Миляева А. В.

Экспериментальное обоснование возможности создания комфортной воздушной среды с применением воздухоочистителей.....60

Мерциев А. А., Мартынов Е. Н., Коробова М. М., Чеботарева Е. О.

Применение системы стенового отопления для обеспечения параметров микроклимата помещений.....67

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Серебрякова Н. Е., Гринченко К. В., Карасев В. Н.

Влияние антропогенной трансформации почв на состояние древесных видов города Йошкар-Олы.....78

ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЕ ХОЗЯЙСТВО И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Красилов Н. А., Данилин Е. В., Дудин В. М.

Оценка пригодности материалов на основе регенерированного асфальтобетонного покрытия из щебёночно-мастичного асфальтобетона для выполнения ремонтных работ автодорожных покрытий86

Алексигов С. В., Альшанова М. И.

Оценка надежности дорожной сети по состоянию покрытия.....92

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Магомедов М. С.

Особенности оценки инвестиционных проектов98

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....106

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

Lebedeva A. V., Tumakov S. A.

The influence of temperature and climatic influences on the stress-strain state of reinforced concrete monolithic frame of the building.....9

Glukhov V. S., Gavrilov P. K.

Computation of the combined foundation settlement with taking into account nonlinear strains of the soil basement.....15

Fabrichnaya K. A., Farrahova C. F.

Research stressed-deformed state of the node steel-concrete building frame in ANSYS PC.....25

Barkaya T. R., Gavrilenko A. V., Sokolov S. A., Tsybina R. Z.

An experimental study of the strength, ductility and deformability of reinforcement joints performed with pressed couplers.....36

Glukhova M. V., Glukhov V. S.

Considering the non-linear soil deformation in the settlement of pile in punched holes with broadening.....45

ENGINEERING SYSTEMS AND COMMUNICATIONS

Parshakov I. A., Sazonova S. A.

Substantiation of the choice of the pipeline ballasting method in season-freezing soils.....53

Lobanov D. V., Isaeva E. S., Lobanova E. A., Milyaeva A. V.

Experimental substantiation of the possibility of creating a comfortable air environment with application of air cleaners.....60

Mershchiyev A. A., Martynov E. N., Korobova M. M., Chebotaryova E. O.

Application of the wall heating system to ensure the room microclimate parameters.....67

ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

Serebryakova N. E., Grinchenko K. V., Karasev V. N.

Influence of anthropogenic soil transformation over the condition of woody views in Yoshkar-Ola city78

MACHINES

Krasilov N. A., Danilin E. V., Dudin V. M.

The assessment of the suitability of materials based on recycled asphalt pavement stone mastic asphalt concrete for repair work of road coatings.....86

Aleksikov S. V., Alshanova M. I.

Assessment of road network reliability by condition of coating.....92

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

Magomedov M. S.

Features of evaluation of investment projects.....98

WRITING RULES AND GUIDELINES.....106

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

УДК 624.012.4

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ

А. В. Лебедева, С. А. Тумаков

Лебедева Анна Владимировна, магистрант кафедры «Строительные конструкции», ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Российская Федерация, тел.: +7(903)646-56-46; e-mail: nyura.lebede@yandex.ru

Тумаков Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные конструкции», ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Российская Федерация, тел.: +7(4852)40-21-99; e-mail: tumakovsa@ystu.ru

В статье рассматривается влияние температурно-климатических воздействий на общее напряженно-деформированное состояние монолитного железобетонного каркаса здания и сравнение этого воздействия с другими нагрузками. Поставлена задача оценки влияния отсутствия учёта температурного воздействия на надёжность и долговечность конструкций. Исследование модели проводится в трех расчетных ситуациях: в режиме эксплуатации с условным разделением здания на температурно-деформационные отсеки; в режиме возведения с пониженным значением «положительных» температурных нагрузок; в режиме возведения с пониженным значением «отрицательных» температурных нагрузок. При проведении расчетов приняты некоторые допущения, в том числе, не рассматривается методика, порядок и сроки выполнения монтажа. Влияние температурно-климатических нагрузок рассматривается в программном обеспечении SCAD Office (лиц. № 800908099), на модели многоэтажного жилого монолитного железобетонного здания с подземной автопарковкой и нежилыми помещениями первого этажа. В расчёте рассматривается несколько типовых секций разной длины. Работа секций рассчитывается совместно с основанием здания. Анализ результатов расчета проводится исходя из величины изменения армирования в основных несущих элементах: переход к другому диаметру рабочей арматуры для колонн и изменение процента армирования для плит перекрытия (покрытия).

Ключевые слова: температурно-климатические воздействия; железобетонный каркас; напряженно-деформированное состояние; температура замыкания.

При проектировании все чаще инженеры-конструкторы и архитекторы подбирают не стандартные, гибкие, свободные от модульной системы планировки и объемные решения зданий. Из-за разнообразия железобетонных конструкций, их форм, сечения и размеров, современные нормы проектирования не допускают устанавливать размеры между температурно-деформационными швами без расчета проектируемой конструкции на длительное воздействие нагрузок, неблагоприятные климатические, технологические, температурные и влажностные воздействия, попеременное замораживание и оттаивание, агрессивные воздействия и др. Ранее действовавшие нормы по размерам температурных отсеков зданий не охватывали все вариации современных конструкций, и стандартный расчет на четко ограниченные характеристики применяемых бетонов и арматуры не всегда проходит проверку в новых вариациях конструктивных и объемно-планировочных решений [1, 2].

При колебании температуры воздуха, радиации, влажности в здании могут возникать большие усилия и деформации, которые часто являются причиной различного рода повреж-

дений (трещины, разрывы, сколы). В целях предотвращения указанных повреждений необходимо производить расчет на действующие температурно-климатические воздействия района строительства, с целью рационального разделения здания температурными швами на отдельные температурные отсеки [3].

Расчет на температурно-климатические воздействия позволяет путем правильного выбора схем и жесткостных характеристик конструкций и их соединений значительно снизить температурные усилия и повреждения, увеличить эксплуатационные качества, надежность и долговечность объекта [4].

Температурные воздействия на строительные конструкции могут иметь самое разнообразное происхождение, но чаще всего рассматриваются климатические температурные воздействия и технологические температурные воздействия.

Напряженно-деформированное состояние сооружения в стадии возведения определяется рядом факторов: монолитный или сборный вариант, наличием предварительного напряжения и способом его создания, расчетной схемой сооружения, конструктивным решением узлов сопряжения элементов и т.д. [5].

Степень температурных воздействий на конструкции зданий зависит от следующих факторов: местные климатические условия, пространственная ориентация конструкции по сторонам света, общая масса конструкции, свойства наружных поверхностей (облицовки, отделки зданий), режимы работы систем обогрева и кондиционирования, тепловая изоляция здания [6, 7].

Температура замыкания. Температурные усилия возникают только в статически неопределимых конструкциях. Для систем с одной лишней связью эти усилия возникают после превращения конструкции в статически неопределимую (после замыкания системы), которое реализуется при некоторой температуре (температуре замыкания системы). Температурные воздействия, возникающие после замыкания конструкций, определяются разностью между экстремальными температурами воздуха и температурой замыкания.

Однако большинство конструкций относится к системам с несколькими лишними связями, замыкание которых распределяется по времени. Для конструкций этого типа не существует температуры замыкания, выраженной каким-либо одним значением, которой соответствовали бы нулевые начальные усилия. Уже в процессе монтажа возникают температурные деформации и усилия, зависящие как от температурных условий, так и от последовательности монтажа [8].

Расчет на температурно-влажностные воздействия выполняется для стадий возведения и эксплуатации здания.

Для стадии возведения рекомендуется различать два расчетных случая [СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции]:

первый – здание возведено в теплое время года и до пуска отопления конструкции здания охлаждаются вследствие понижения температуры наружного воздуха в холодное время года;

второй – здание возведено в холодное время года и конструкции здания нагреваются вследствие повышения температуры наружного воздуха в теплое время года.

В первом расчетном случае из-за противодействия основания температурным изменениям линейных размеров продольных конструкций в них возникают растягивающие напряжения, во втором расчетном случае – сжимающие напряжения.

В первом расчетном случае усадочные деформации можно не учитывать, так как в холодное время года деформации усадки бетона не увеличиваются. В связи с тем, что температурные и усадочные деформации во втором расчетном случае противоположны по знаку, а сжимающие напряжения в продольных конструкциях, как правило, не опасны, допускается второй расчетный случай не рассматривать.

Исследование влияния температурных воздействий проведено на примере монолитного железобетонного каркаса отсека, размером в плане 39,6×21,3 м, 10-ти этажного жилого

здания с подземной автостоянкой и нежилыми помещениями первого этажа (рис. 1). Поставлена задача оценки влияния отсутствия температурного воздействия на результаты армирования каркаса объекта строительства.

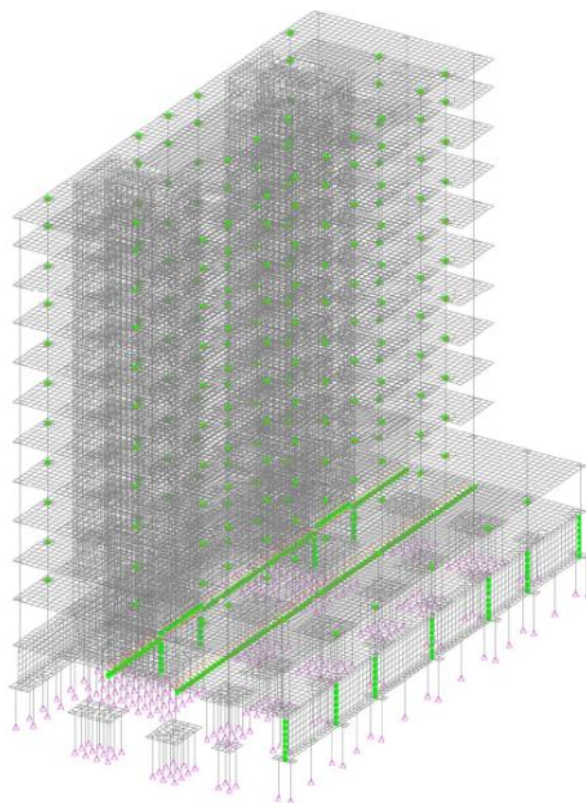


Рис. 1 – Общий вид конечно-элементной модели средней секции

В расчете были рассмотрены три расчетные ситуации [СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.]:

1 ситуация: конструкция рассматривается в режиме эксплуатации, расчет производится по 1 группе предельных состояний, с условным разделением здания на температурно-деформационные швы.

2 ситуация: конструкция рассматривается в режиме возведения, расчет производится по 1 группе предельных состояний, с учетом положительных температурно-климатических воздействий $\Delta t_w = 44\text{ }^{\circ}\text{C}$ (расчетное значение).

3 ситуация: конструкция рассматривается в режиме возведения, расчет производится по 1 группе предельных состояний, с учетом отрицательных температурно-климатических воздействий $\Delta t_c = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (расчетное значение).

При расчете конструкций для условий возведения расчетные значения снеговых, ветровых и температурных климатических воздействий снижены на 20 % [СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия].

В качестве расчетной модели рассматривается пространственная схема с жестким соединением элементов, образованная из оболочечных конечных элементов, моделирующих стены и перекрытия (плиты-оболочки), а также стержневых элементов, моделирующих колонны и балки.

Для исследования напряженно-деформированного состояния каркаса здания были отобраны наиболее нагруженные колонны, как основные несущие конструкции. Проведен анализ напряжений от различных загрузок: постоянная, снеговая, ветровая нагрузки и температурное воздействие [9].

В качестве примера на рис. 2 показана диаграмма долей рассматриваемых нагрузок и воздействий в размере нормальных напряжений в колоннах здания.

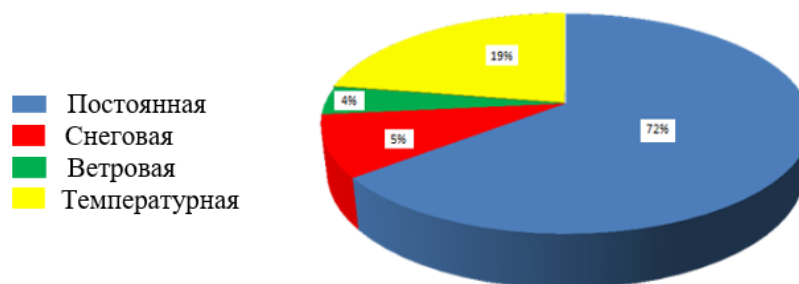


Рис. 2 – Диаграмма соотношений усредненных значений нормального напряжения усилия от отдельных загрузок

Результаты расчетов показывают, что основной вклад в напряженное состояние элементов главной арки принадлежит нагрузке от собственного веса (72 %). При этом следует отметить значительную долю (19%) влияния температурных воздействий.

Температурно-климатические воздействия оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние каркаса здания. Увеличение армирования приходится на колонны, расположенные по периферии отсека здания. Изменение армирования в большую сторону наблюдается также и для некоторых центральных колонн, при большой грузовой площади. В этом случае введение в расчет температурно-климатических нагрузок оказывает влияние на увеличении армирования [10]. Для некоторых малонагруженных колонн наблюдается увеличение расчетного армирования по сравнению с расчетом без учета температурного воздействия, но это увеличение не является критическим, т.к. минимальный процент армирования обеспечивает необходимую надежность при конструировании колонн.

Заключение.

В результате проведенных исследований на расчетных моделях здания установлено, что большее влияние оказывают отрицательные расчетные температурные воздействия. Увеличение армирования по сравнению с расчетом, выполненным без учета температурно-климатических воздействий, составляет 10...20 % по различным зонам железобетонных конструкций.

Выявлено, что температурно-климатические нагрузки не предсказуемы на всем массиве элементов и для отдельных конструкций могут оказать значительное увеличение внутренних усилий, которыми не следует пренебрегать при моделировании и расчете здания в ходе его проектирования.

Разделение конструкций на условные температурные секции, принятое в ранее действовавших нормах проектирования, не может быть применено при расчете зданий, т.к. в наши дни архитектура, планировка зданий и применяемые материалы имеют большое влияние на температурные усилия и деформации в элементах каркасов зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хритин, И. В. Экспериментальные исследования влияния сезонных изменений температуры на усилия в конструкциях ограждения котлованов / И. В. Хритин // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 2. – С. 154-162.
2. Пантелеев, Н. Н. Исследование напряженно-деформируемого состояния цилиндрических зданий при температурных воздействиях / Н. Н. Пантелеев, Д. А. Безгеммер // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 11. – С. 105-112.

3. **Свинарчук, А. Л.** Рациональное проектирование самонесущих стен из каменной кладки с учетом температурного перепада от воздействия солнечной радиации : автореф. дис. ... канд-та. техн. наук : 05.23.01 / А. Л. Свинарчук ; Новосибирск, 2003. – 18 с.
4. **Зинов, И. А.** Стойкость и деформации высокопрочного бетона при циклических температурных воздействиях : автореф. дис. ... канд-та. техн. наук : 05.23.05 / И. А. Зинов ; Челябинск, 1999. – 196 с.
5. **Шапиро, Г. И.** К вопросу о напряженно-деформированном состоянии жилых и общественных зданий при температурных воздействиях / Г. И. Шапиро, В. С. Коровкин // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 12. – С. 5-8.
6. **Матвеева, Н. А.** Влияние температурных климатических воздействий на напряженно-деформированное состояние наружных стен здания в условиях Якутии / Н. А. Матвеева, В. И. Корсун, Н. Д. Данилов, П. А. Федотов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2018. – № 3(131). – С. 30-35.
7. **Перехоженцев, А. Г.** Влияние климатических воздействий на температурно-влажностное состояние поверхностных слоев многослойных наружных ограждающих конструкций зданий / А. Г. Перехоженцев, И. Ю. Груздо // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 4(46). – С. 143-149.
8. **Береснев, В. Л.** Работа стен монолитных железобетонных силосов при температурных воздействиях : автореф. дис. ... канд-та. техн. наук : 05.23.01 / В. Л. Береснев ; Самарская гос. архитектурно-строит. академия. – Самара, 1996. – 18 с.
9. **Несветаев, Г. В.** Закономерности деформирования и прогнозирование стойкости бетонов при силовых и температурных воздействиях: Методология и принципы рецептурно-технологического регулирования : автореф. дис. ... докт-ра. техн. наук : 05.23.05 / Г. В. Несветаев; Ростов-на-Дону, 1998. – 468 с.
10. **Червонобаба, Г. В.** Прочность, деформации и трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов при воздействии отрицательных температур до -50 градусов С : автореф. дис. ... канд-та. техн. наук : 05.23.01 / Г. В. Червонобаба ; Москва, 1984. – 165 с.

Поступила в редакцию 21 октября 2019

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND CLIMATIC INFLUENCES ON THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE MONOLITHIC FRAME OF THE BUILDING

A. V. Lebedeva, S. A. Tumakov

Lebedeva Anna Vladimirovna, graduate student, Departament of building constructions, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: +7(903)646-56-46; e-mail: nyura.lebede@yandex.ru
Tumakov Sergey Anatolyevich, Cand. tech. sciences, associate Professor, Departament of building constructions, Yaroslavl State technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: +7(4852)40-21-99; e-mail: tumakovsa@ystu.ru

The article considers the influence of temperature and climatic influences on the General stress-strain state of the monolithic reinforced concrete frame of the building. The problem of estimation of influence of temperature and climatic influences in comparison with other loadings is set. The task is to assess to what extent not taking into account this temperature impact can affect the reliability and durability of structures. The study of the model is carried out in three design situations: in operation mode with conditional separation of the building into temperature-deformation compartments, in construction mode with a reduced value of "positive" temperature loads, in construction mode with a reduced value of "negative" temperature loads. During the calculations, some assumptions are made, including the method, procedure and timing of installation are not considered. The influence of temperature and climatic loads is considered in the software package SCAD Office (license № 800908099), on the model of

multi-storey residential monolithic reinforced concrete building with underground Parking and non-residential premises of the first floor. Several typical sections of different lengths are considered in the calculation. The work of the sections is calculated together with the base of the building. The analysis of calculation results is carried out proceeding from size of change of reinforcement in the basic bearing elements; transition to other diameter of working armature for columns and change of percent of reinforcement for overlapping plates (covering).

Keywords: temperature and climatic effects; reinforced concrete frame; stress-strain state; temperature closure.

REFERENCES

1. **Khritin I. V.** *Experimental study of the effect of seasonal temperature changes on the forces in excavation shoring constructions*. Bulletin civil engineers. 2017. No. 2. Pp. 154-162. (in Russian)
2. **Panteleev N. N., Bezgemmer D. A.** *Investigation of the stress-strain state of cylindrical buildings under temperature influences*. Proceedings of higher educational institutions. Construction. 2011. No. 11. Pp. 105-112. (in Russian)
3. **Svinarchuk A. L.** *Rational design of self-supporting masonry walls taking into account the temperature difference from the effects of solar radiation*. Novosibirsk. 2003. 18 p. (in Russian)
4. **Zinov I. A.** *Resistance and deformation of high-strength concrete under cyclic temperature influences*. Chelyabinsk. 1999. 196 p. (in Russian)
5. **Shapiro G. I., Korovkin V. S.** *On the stress-strain state of residential and public buildings under temperature influences*. Industrial and civil construction. 2008. No. 12. Pp. 5-8. (in Russian)
6. **Matveeva N. A., Korsun V. I., Danilov N. D., Fedotov P. A.** *Influence of temperature climatic influences on the stress-strain state of the external walls of the building in Yakutia*. Bulletin of the Donbass national Academy of construction and architecture. 2018. No. 3(131). Pp. 30-35. (in Russian)
7. **Perehogencev A. G., Gruzdo I. Y.** *Influence of climatic influences on temperature and humidity state of surface layers of multilayered external enclosing structures of buildings*. International research journal. 2016. No. 4(46). Pp. 143-149. (in Russian)
8. **Beresnev V. L.** *Work of walls of monolithic reinforced concrete silos at temperature influences*. Samara, Samara state architectural-building academy. 1996. 18 p. (in Russian)
9. **Nesvetaev G. V.** *Regularities of deformation and prediction of concrete resistance under force and temperature influences: Methodology and principles of compounding and technological regulation*. Rostov-on-Don. 1998. 468 p. (in Russian)
10. **Chervonobaba G. V.** *Strength, deformation and crack resistance of bent reinforced concrete elements under the influence of negative temperatures up to -50 degrees C*. Moscow. 1984. 165 p. (in Russian)

Received 21 October 2019

Для цитирования:

Лебедева, А. В. Влияние температурно-климатических воздействий на напряженно-деформированное состояние монолитного железобетонного каркаса здания / А. В. Лебедева, С. А. Тумаков // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 9-14.

FOR CITATION:

Lebedeva A. V., Tumakov S. A. *The influence of temperature and climatic influences on the stress-strain state of reinforced concrete monolithic frame of the building*. Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 4(11). Pp. 9-14. (in Russian)

УДК 624(131.524.4+155.113.3)

РАСЧЁТ ОСАДКИ КОМБИНИРОВАННЫХ ФУНДАМЕНТОВ С УЧЁТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ

В. С. Глухов, П. К. Гаврилов

Глухов Вячеслав Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры геотехники и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Российская Федерация, тел.: +7(8412)49-72-77; e-mail: gds@pguas.ru

Гаврилов Павел Константинович, аспирант, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Российская Федерация, тел.: +7(927)093-66-34; e-mail: pavel.gavrilov58@yandex.ru

В современной практике строительства одной из наиболее перспективных разработок в области проектирования фундаментов являются комбинированные свайно-плитные и свайно-ленточные фундаменты, где обе составляющие передают усилия от конструкций здания на грунтовое основание. В то же время, стремление к достижению максимально возможного экономического эффекта без потери прочностных характеристик конструкций способствует повышению интереса к изучению работы грунтового основания в нелинейной стадии развития деформаций, когда происходит выход за пределы линейных зависимостей между напряжениями и осадками. Авторами настоящей статьи на примере монолитного жилого дома рассмотрены варианты свайно-плитного и свайно-ленточных фундаментов с применением призматических свай, устраиваемых по технологии вдавливания. Принимая во внимание тот факт, что при проектировании оснований зданий и сооружений важно нормировать давление на грунт, а также использовать при расчёте модели и схемы, описывающие напряженно-деформированное состояние грунта (НДС), была рассмотрена модель НДС основания, которая учитывает развитие нелинейных деформаций на ограниченную глубину. В рамках поставленной задачи был произведен расчёт осадки вариантов фундаментов по схеме линейно-деформируемого полупространства, а также с учётом нелинейного характера зависимости между напряжениями и деформациями основания. Выполнено технико-экономическое сравнение предложенных вариантов комбинированных фундаментов, а также сформулирован вывод о целесообразности и экономической выгоде, получаемой в результате применения метода расчёта осадок зданий и сооружений с учетом нелинейности.

Ключевые слова: осадка; нелинейные деформации; грунтовое основание; комбинированный фундамент; свайно-плитный фундамент.

В соответствии с современными тенденциями в области городского строительства объем возведения зданий повышенной этажности неуклонно возрастает. При этом количество территорий с благоприятными грунтовыми условиями сокращается. Наблюдается рост нагрузок на основания, сопровождающийся образованием под подошвой фундаментов высотных зданий значительных по величине давлений, а также осадок, зачастую превышающих предельно допустимые значения [1]. Таким образом, при расчете фундаментов высотных зданий актуальным является учёт ряда факторов, влияющих на обеспечение нормальной работы грунтового основания, таких как соотношение давления под подошвой фундамента, расчётного и предельного сопротивления грунта, с сопоставлением расчётных и допускаемых осадок.

Одним из перспективных направлений при проектировании оснований высотных зданий и сооружений является вариант с использованием комбинированного свайно-плитного фундамента, применение которого требует решения вопроса о распределении нагрузки между сваями и плитным ростверком [2].

Согласно СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*», расчёт осадки S следует производить при давлении под подошвой фундамента P , не превышающим расчетного сопротивления грунтового основания R , т.е. в границах развития линейных деформаций [3]. Однако, на основании ряда научных работ, посвященных данной проблеме, а также исходя из практического опыта проектирования фундаментов, можно сделать вывод о допустимости превышения расчётного сопротивления. При этом осадку зданий и сооружений следует определять с учётом нелинейности [4]. Актуальным становится вопрос о том, как далеко можно выйти за рамки R , и на сколько можно приблизиться к величине предельно допустимого давления $P_{р.д.}$ ($R < P \leq P_{р.д.}$) [5]. В этом случае важно обеспечить условие, что осадка сооружения S не была больше предельно допустимого значения S_u ($S \leq S_u$).

Авторами статьи выполнены расчеты вариантов комбинированных фундаментов с учетом развития линейных и нелинейных деформаций грунтового основания при различной величине давления P под подошвой ростверка. Значение последнего находится в пределах $R = 410,0$ кПа и $P_{р.д.} = 970,0$ кПа. Проектирование фундаментов производилось для секции 27-этажного жилого дома, выполненного по каркасно-ствольной конструктивной схеме из монолитного железобетона, расположенного на ул. Физкультурной в г. Самаре. Общая расчетная нагрузка в уровне обреза фундамента составляет $F = 33690,0$ тс. В проекте приняты составные призматические сваи сечением 300×300 мм и длиной ствола $l = 18,0 \dots 21,0$ м (рис. 1), расчетно-допускаемая нагрузка на составную сваю, погруженную по технологии вдавливания с шагом $a = 5 \dots 7d$ [6], составляет $N_{р.д.} = 80,0$ тс. Природное давление в уровне подошвы фундамента, расположенного на глубине $h = 2,5$ м порядка $G_{zq0} = 40,0$ кПа.

Геологическое строение участка, определяется развитием толщи верхнечетвертичных аллювиальных отложений ($aQIII$), представленных коричневоцветными тяжелыми суглинками с линзами легких глин, консистенция которых варьирует от полутвердой до мягкопластичной, и легкими глинами полутвердой-тугопластичной консистенции с прослоями суглинков и линзами песков. С поверхности практически повсеместно развиты современные техногенные отложения ($tQIV$) мощностью $0,6 \dots 0,8$ м, представленные переотложенными глинистыми грунтами (глины, суглинки), с примесью строительного мусора (щебень, битый кирпич, и т.п.). Глубина залегания установившегося уровня грунтовых вод (УГВ) составила $h_b = 7,26 \dots 8,14$ м от поверхности. Проявления неблагоприятных для строительства процессов и явлений на исследуемой территории в ходе рекогносцировочного обследования не обнаружены.

По данным разведочного бурения и лабораторных исследований в грунтовой толще выделено шесть инженерно-геологических элементов (ИГЭ), физико-механические характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики грунтового основания

№ ИГЭ	Название ИГЭ	E , МПа	φ , °	C , кПа	I_L	γ , т/м ³	γ_d , т/м ³	e
1	Почвенно-растительный слой	-	-	-	-	15	-	-
2	Суглинок полутвердый	7,7	21,0	18,0	0,01	1,86	1,59	0,723
3	Суглинок твердый	15,0	22,0	24,0	0,02	2,04	1,74	0,578
4	Суглинок мягкопластичный	8,4	18,0	13,0	0,58	2,03	1,61	0,699
5	Суглинок тугопластичный	14,0	21,0	22,0	0,37	2,04	1,65	0,661
6	Глина полутвердая	22,0	21,0	39,0	0,07	2,05	1,65	0,677

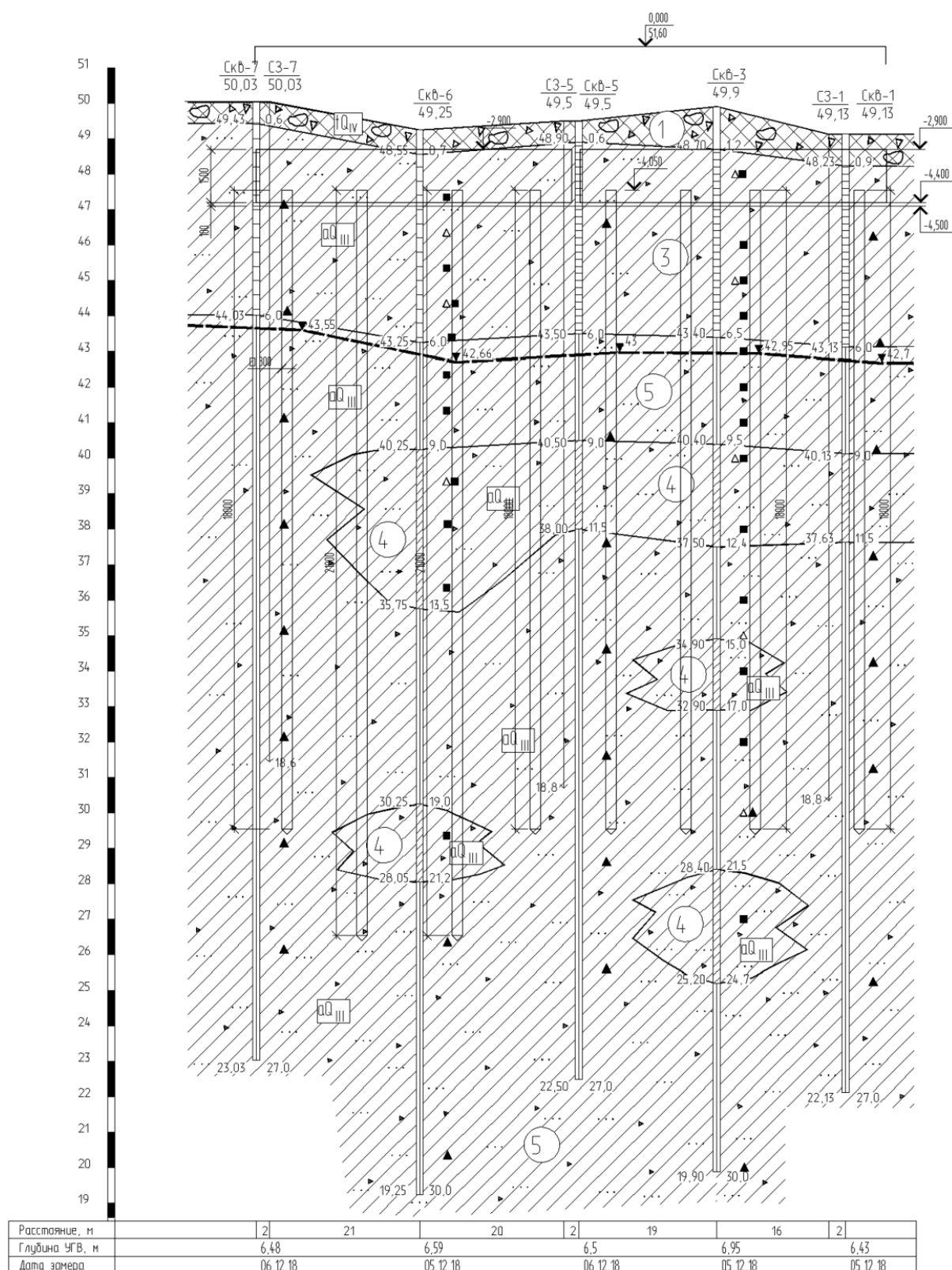


Рис. 1 – Инженерно-геологический разрез

По первому варианту проектирования принимаем комбинированный свайно-плитный фундамент, состоящий из 213 свай, воспринимающих нагрузку $N_{Пс} = 17040,0$ тс, и сплошной монолитной плиты, площадью $A_{пл} = 829,2$ м² и толщиной $h_p = 1,5$ м, устраиваемой под всем зданием (рис. 2). Допускаемая нагрузка на плиту составляет $N_{Пр} = 16650,0$ тс, при этом давление под подошвой последней порядка $P = 200,0$ кПа, что меньше $R = 410,0$ кПа. Расчет

осадки монолитной плиты произведен по схеме линейно-деформируемого полупространства с использованием формулы (5.19) СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*»:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{G_i h_i}{E_i}, \quad (1)$$

где β – безразмерный коэффициент, принимаемый равным 0,8; G_i – дополнительное давление в середине i -го участка; h_i – глубина i -го участка, принимаемая равной не более 0,4 ширины фундамента b ; E_i – модуль деформации в середине i -го участка.

По формуле (1) получаем, что осадка здания при данном варианте фундамента составит $S = 11,4$ см, что меньше на 37 % предельно допустимого значения $S_u = 18,0$ см.

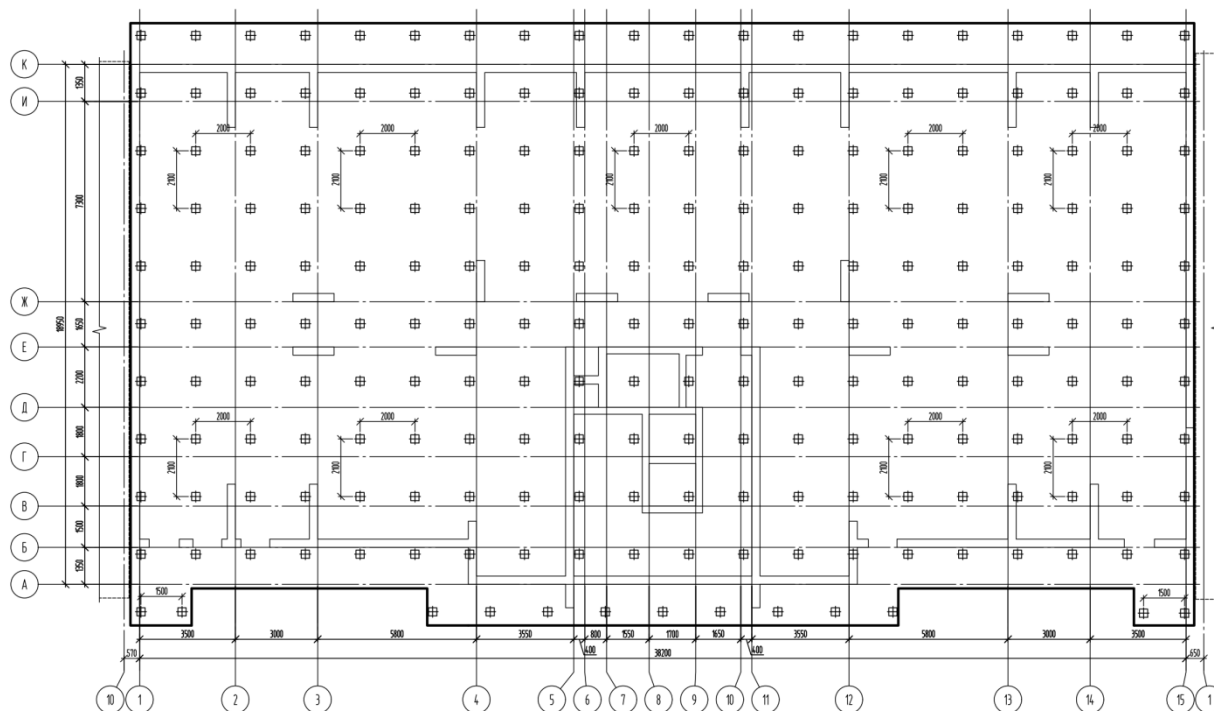


Рис. 2 – План свайного поля и ростверка по 1-му варианту проектирования

Принимая во внимание полученный результат, в качестве второго варианта фундаментов принят к рассмотрению комбинированный фундамент с ленточным ростверком, общая площадь которого составит $A_{пл} = 479,2 \text{ м}^2$ (рис. 3), а давление под подошвой ростверка $P = R = 410,0 \text{ кПа}$, т.е. расчёт деформации грунтового основания ведем в линейной постановке.

При данном давлении нагрузка, воспринимаемая монолитным ленточным ростверком, составит $N_{лр} = 19646,4 \text{ тс}$, в то время как нагрузка, воспринимаемая сваями в количестве 176 шт., составит $N_{лс} = 14043,6 \text{ тс}$. Расчёт осадки в данном случае ведется для наиболее характерного сечения при ширине подошвы фундамента $b = 3,4 \text{ м}$. Таким образом, имеем, что полученная осадка $S = 142,0 \text{ мм} < S_u = 180,0 \text{ мм}$.

При проектировании оснований и фундаментов крайне важно ограничивать давление на грунт и использовать определенные расчётные модели и схемы, описывающие его напряженно-деформируемое состояние (НДС) [7]. Согласно современным представлениям о характере распределения деформаций в грунтовом основании, наибольшая глубина развития пластических деформаций под краями фундамента при условии $P = R$ не должна превышать $z_{min} = 0,25b$ [8]. Известная формула расчетного сопротивления R построена таким образом, что среднее давление по подошве фундамента в данном случае приравнивается к расчетному сопротивлению грунта R .

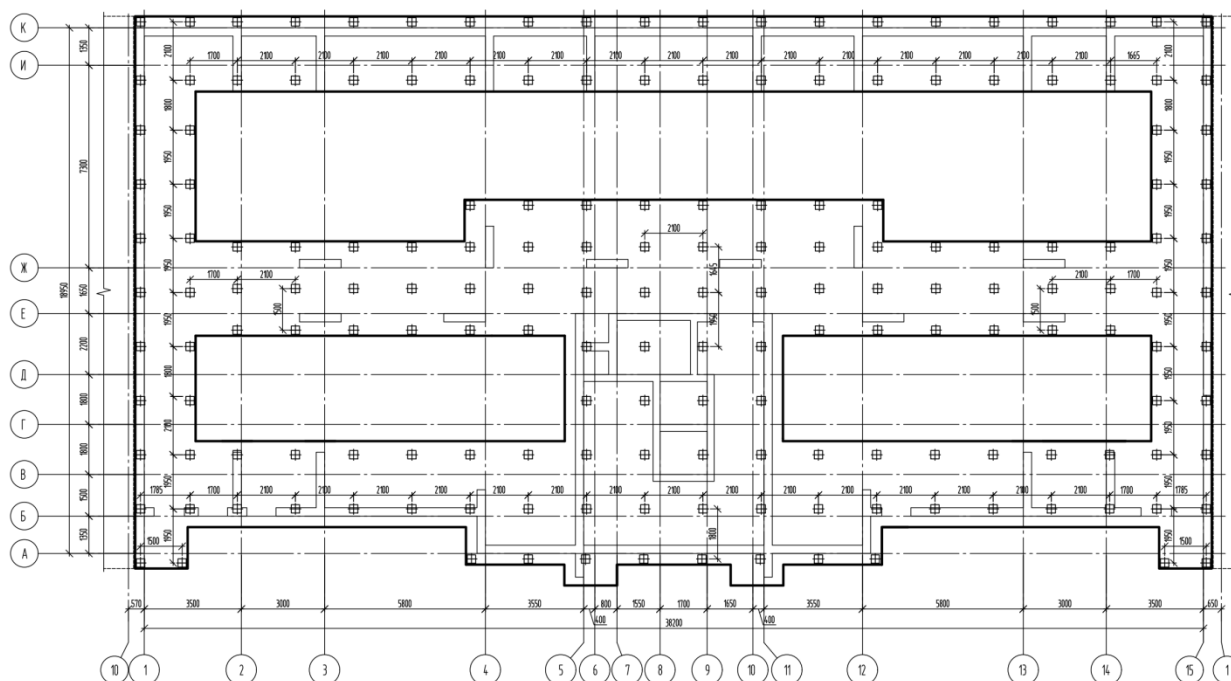


Рис. 3 – План свайного поля и ростверка по 2-му варианту проектирования

Однако, когда напряженно-деформируемое состояние в грунтовом основании соответствует условию $R < P \leq P_{p.d.}$, то осадку определяют согласно решениям теории предельного равновесия с учетом нелинейности. При этом последнее следует выполнять в пределах активной зоны сжатия грунта, в рамках которой происходит формирование жесткого ядра под подошвой фундамента и развитие пластических зон грунта в стороны и вверх, а не по всей глубине сжимаемой толщи грунтового основания.

На основании вышеизложенного, авторами рассматривается модель НДС грунта, учитывающее развитие нелинейных деформаций на ограниченную глубину. Указанное расстояние принимается равным $z = b$. Следовательно, при определении осадки происходит учёт как линейной, так и нелинейной составляющих, и осадка будет определяться из выражения:

$$S_0 = S_R + S_{Rz} K_n, \quad (2)$$

где S_R – осадка в пределах активной зоны деформаций грунтового основания от давления $P = R$; S_{Rz} – осадка, определенная с учетом развития линейных деформаций при $P = R$ в пределах зоны сжатия $z = b$; K_n – коэффициент нелинейности [9], определяемый из выражения:

$$K_n = 1 + \frac{(P_u \cdot R)(P \cdot R)}{(R \cdot \sigma_{zg,0})(P_u \cdot P)}. \quad (3)$$

Принимается к рассмотрению выбранный участок монолитного ленточного ростверка шириной $b = 1,9$ м с давлением под подошвой $P = 600,0$ кПа. При этом, учитывается распределение нелинейных деформаций на глубину $z = b = 1,9$ м. Таким образом, грунтовое основание работает при следующем условии:

$$R < P. \quad (4)$$

Нагрузка, воспринимаемая ленточным ростверком площадью $A_{пл} = 338,1$ м², составляет $N_{лп} = 20250,0$ тс, тогда как усилие, передаваемое на сваи в количестве 168 шт., равно $N_{лс} = 13440,0$ тс. Следует отметить, что сваи располагаются в местах сосредоточения нагрузок от элементов несущих конструкций здания [10].

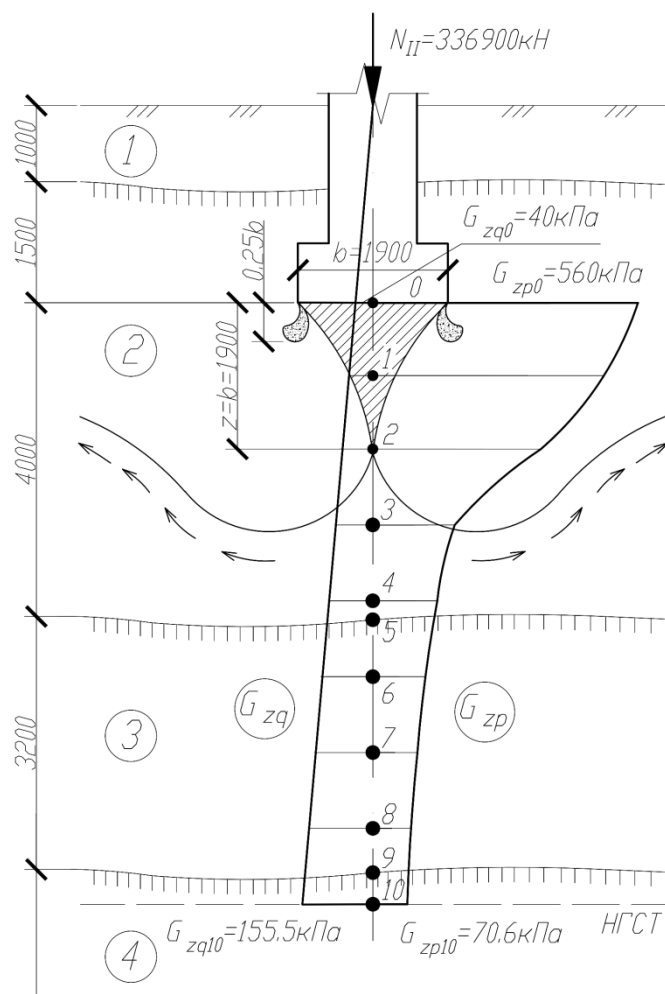


Рис. 4 – К расчету осадки фундамента с учетом нелинейности

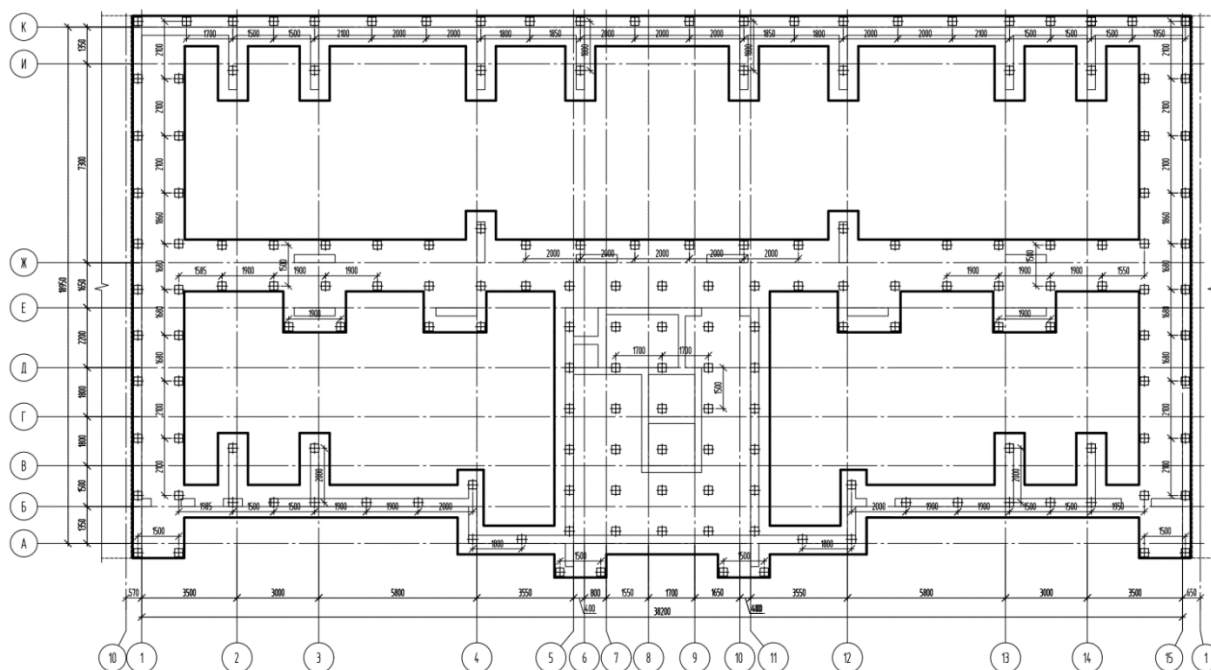


Рис. 5 – План свайного поля и ростверка по 3-му варианту проектирования

В результате выполненных расчётов получаем, что осадка в рамках учета нелинейных деформаций равна $S_{Rz} = 50,4 \text{ мм}$, а коэффициент $K_H = 1,7$. Осадка, определенная с учетом

линейного характера зависимости между напряжениями и деформациями, составляет $S_R = 75,6$ мм.

По формуле (2) получаем, что $S_0 = 160$ мм $< S_u = 180$ мм. Расчёт и сравнение стоимости вариантов фундаментов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Технико-экономическое сравнение вариантов фундаментов

Вариант фундамента	Наименование работ	Объем работ, м ³	Стоимость	
			единицы, руб./м ³	всего, млн. руб.
1	2	3	4	5
Вариант 1 Свайно-плитный фундамент ($P = R$)	Отрывка котлована	1638,0	300	0,491
	Устройство фундаментов из призматических свай	402,6	18000	7,247
	Устройство монолитного ростверка	1328,8	14000	18,603
Итого				26,341
Вариант 2 Комбинированный свайно-ленточный фундамент ($P = R$)	Отрывка котлована	1638,0	300	0,491
	Устройство фундаментов из призматических свай	332,6	18000	5,987
	Устройство монолитного ростверка	769,1	14000	10,767
Итого				17,245
Вариант 3 Комбинированный свайно-ленточный фундамент ($R < P \leq P_{p.d.}$)	Отрывка котлована	1638,0	300	0,491
	Устройство фундаментов из призматических свай	317,5	18000	5,715
	Устройство монолитного ростверка	542,6	14000	7,596
Итого				13,802

Исходя из данных, представленных в табл. 2, можно сделать вывод, что для данного жилого дома в заданных грунтовых условиях наиболее эффективно использование варианта свайно-плитного фундамента, рассчитанного с учетом распространения нелинейных деформаций на ограниченную глубину сжимаемой толщи. Экономический эффект данного варианта по сравнению с первоначально принятым конструктивным решением составляет порядка 48 %. Таким образом, вопрос развития метода расчёта осадки в нелинейной постановке и его применение при проектировании оснований зданий и сооружений является практически значимой задачей. Применение данного способа позволит получить значительную экономию материальных ресурсов на возведение объектов без потери их требуемой надежности.

Заключение.

При проектировании комбинированных фундаментов одной из ключевых особенностей является решение задачи о распределении нагрузки между сваями и плитой (ленточным ростверком).

Конструирование комбинированных свайно-плитных и свайно-ленточных фундаментов производится с учётом того, что лучше использовать меньшее количество свай и располагать их в местах концентрации нагрузки (под колонной, пилоном, несущей стеной).

Учёт нелинейного характера зависимости между напряжениями и деформациями основания следует производить в рамках активной зоны сжатия грунта, в пределах которой происходит формирование жесткого ядра под подошвой фундамента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глухов, В. С. Свайно-плитные фундаменты на комбинированном основании / В. С. Глухов, О. В. Хрянина, М. В. Глухова // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 2. – С. 229-237.
2. Смолак, В. Я. Распределение нагрузок в свайно-плитных фундаментах / В. Я. Смолак, П. А. Кравченко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 11. – С. 255-261.
3. Глухов, В. С. Расчет осадки свай в пробитых скважинах с учетом нелинейности / В. С. Глухов, Ю. В. Грачева, Ю. С. Галова // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5-2(38). – С. 367-370.
4. Pilyagin, A. V. Deformation-based bed design using linear and nonlinear methods / A. V. Pilyagin // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 1996. – Vol. 33. – № 1. – Pp. 12-15.
5. Лушников, В. В. Анализ расчетов осадок в нелинейной стадии работы грунта / В. В. Лушников, А. С. Ярдяков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 2. – С. 44-55.
6. Калугин, П. И. О расчёте комбинированных свайно-плитных фундаментов по деформациям основания / П. И. Калугин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии». – 2012 – № 1. – С. 90-93.
7. Пронозин, Я. А. Взаимодействие системы усиления свайных фундаментов с предварительно опрессованным грунтовым основанием эксплуатируемого сооружения / Я. А. Пронозин, М. А. Степанов, А. Н. Шуваев, Д. Н. Давлатов // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 9. – № 3. – С. 42–53.
8. Kirillov, V. M. Approximate accounting of zones of plastic deformation in the bed of a rigid plate / V. M. Kirillov // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 1992. – Vol. 29. – № 4. – Pp. 95-100.
9. Малышев, М. В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений / М. В. Малышев. – Москва: Стройиздат, 1994. – 228 с.
10. Шулятьев, О. А. Фундаменты высотных зданий / О. А. Шулятьев // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2014. – №4. – Строительство и архитектура. – С. 202-244.

Поступила в редакцию 23 октября 2019

**COMPUTATION OF THE COMBINED FOUNDATION SETTLEMENT
WITH TAKING INTO ACCOUNT NONLINEAR STRAINS
OF THE SOIL BASEMENT**

V. S. Glukhov, P. K. Gavrilov

Glukhov Vyacheslav Sergeevich, Cand. tech. sciences, associate Professor, Head of the Department of geotechnics and road construction, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation, phone: +7(8412)49-72-77; e-mail: gds@pguas.ru

Gavrilov Pavel Konstantinovich, post-graduate student, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation, phone: +7(927)093-66-34; e-mail: pavel.gavrilov58@yandex.ru

In modern building and construction practice, one of the most promising research in the field of foundation design is about combined pile-plate and pile-strip foundations, where both parts

transfer forces from the building structures to the soil basement. At the same time, the aspiration to achieve the maximum possible economic effect without losing the strength properties of constructions contributes to an increasing interest in studying the work of the soil foundation in the stage of nonlinear strains, when the linear dependencies between tensioning and settlement go beyond the limits. The authors of this article, using the example of a solid-cast domestic building, considered options of pile-plate and pile-strip foundations, using prismatic piles, which are set up according to the pile jacking technology. Taking into account the fact that, when designing the buildings and structures basements, it is important to normalize the pressure on the soil, and also to use, when calculating, models and schemes describing the stress-strain state of the soil, the model of the stress-strain state of the soil of the foundation was considered, which takes into account the development of nonlinear strains on the limited depth. In the framework of the task, we made the computation of settlement of various footings, according to the linearly deformable half-space scheme, and also taking into account the nonlinear nature of the dependency between tensioning and deformations of the footings. A technical and economic comparison of the proposed options for combined foundations is made, as well as a conclusion is formulated on the practicability and economic benefits obtained as a result of applying the method of computation of settlement of buildings and structures taking into account nonlinearity.

Keywords: settlement; nonlinear strains; soil foundation; combined foundation; pile-plate foundation.

REFERENCES

1. **Glukhov V. S., Hryanina O. V., Glukhova M. V.** *Pile-slab foundation on the combined basis*. Bulletin of Perm national research Polytechnic University. Construction and Architecture. 2014. No. 2. Pp. 229-237. (in Russian)
2. **Smolak V. Ya.** *Load distribution in pile-raft foundations*. Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2014. No. 11. Pp. 255-261. (in Russian)
3. **Glukhov V. S., Gracheva Y. V., Galova Y. S.** *Settlement computation of piles in punched holes considering nonlinearity*. Proceedings of Southwestern State University. 2011. No. 5-2(38). Pp. 367-370. (in Russian)
4. **Pilyagin A. V.** *Deformation-based bed design using linear and nonlinear methods*. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1996. Vol. 33. No. 1. Pp. 12-15.
5. **Lushnikov V. V., Jardakov A. S.** *The analysis of calculations sediment in the nonlinear stage of the soil*. Bulletin of Perm national research Polytechnic University. Construction and Architecture. 2014. No. 2. Pp. 44-55. (in Russian)
6. **Kalugin P. I.** *About calculation composite pile-slab foundation the bases on basis deformations*. Bulletin of Voronezh state University of architecture and construction. Materials of interregional scientific-practical conference «High technologies in ecology». 2012. No. 1. Pp. 90-93. (in Russian)
7. **Pronozin Ya. A., Stepanov M. A., Shuvaev A. N., Davlatov D. N.** *Interaction of the system of strengthening pile foundations with preliminarily prime rated ground basis of operating facilities*. Bulletin of Perm national research Polytechnic University. 2018. Vol. 9. No 3. Construction and Architecture. Pp. 42-53. (in Russian)
8. **Kirillov V. M.** *Approximate accounting of zones of plastic deformation in the bed of a rigid plate*. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1992. Vol. 29. No. 4. Pp. 95-100.
9. **Malyshev M. V.** *Strength of soils and bed stability of structures*. Moscow, Stroizdat. 1994. 228 p. (in Russian)
10. **Shulyatyev O. A.** *Foundations of high-rise buildings*. Bulletin of Perm national research Polytechnic University. Construction and Architecture. 2014. No. 1. Pp. 202-244. (in Russian)

Received 23 October 2019

Для цитирования:

Глухов, В. С. Расчёт осадки комбинированных фундаментов с учётом нелинейных деформаций грунтового основания / В. С. Глухов, П. К. Гаврилов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 15-24.

FOR CITATION:

Glukhov V. S., Gavrilov P. K. *Computation of the combined foundation settlement with taking into account nonlinear strains of the soil basement.* Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 4(11). Pp. 15-24. (in Russian)

УДК 624.94(69.04)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛА СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ В ПК ANSYS

К. А. Фабричная, Ч. Ф. Фаррахова

Фабричная Ксения Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций, ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Казань, Российская Федерация, тел: +7(843)5104605; e-mail: Fabrichnayaka@gmail.com

Фаррахова Чулпан Фазиловна, магистрант кафедры железобетонных и каменных конструкций, ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Казань, Российская Федерация, тел: +7(917)226-68-06; e-mail: chulpaf@yandex.ru

В статье приводятся результаты компьютерного моделирования крайнего узла стыка колонн и балок сталежелезобетонного каркаса высотного здания. Узел, сечения его элементов и усилия в нем определены по результатам статического расчета модели в ПК Лира. Узел моделировался с помощью ПК Ansys в линейной постановке задачи. Выделены основные факторы, нуждающиеся в анализе - свойство сталежелезобетонных конструкций изменять свое равновесное состояния после укладки бетонной смеси в опалубку и перераспределение напряжений и изменение деформаций при включении бетонного сечения в работу. Рассмотрено четыре стадии жизненного цикла конструкции в зависимости от этапа монтажа: работа стальных элементов до бетонирования; состояние во время набора прочности бетоном; работа комбинированного сечения без приложения эксплуатационных нагрузок, работа на стадии эксплуатации. В результате исследований установлено изменение напряженно - деформированного состояния элементов узла по стадиям монтажа сталежелезобетонных конструкций, необходимое для уточнения методик расчета стыка.

Ключевые слова: компьютерное моделирование; Ansys; напряженно-деформированное состояние; высотное здание; сталежелезобетонный каркас; последовательность монтажа.

В современных городах наблюдается неослабевающая тенденция к увеличению плотности застройки, особенно центральной части, что достигается повышением этажности. Для высотных зданий актуально использование в качестве несущей системы сталежелезобетонного каркаса, имеющего ряд преимуществ по сравнению со стальными и железобетонными аналогами [1], однако несмотря на активное применение за рубежом, в нашей стране такие конструкции имеют локальное распространение. Многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов посвящены отдельным элементам каркаса (колоннам, балкам, перекрытиям) [2...6], но исследований узлов каркасов значительно меньше.

Из наиболее известных отечественных объектов можно указать здание МИД в Москве, которое, как и остальные «Сталинские высотки» сооружены с применением сталежелезобетона. Каркас здания МИД имеет высоту 125 м, конструктивную схему с жесткими рамами с применением сварных конструкций узлов. Колонны и балки обетонировались, при этом обетонка учитывалась как несущий элемент, что позволило снизить расход стали на каркас примерно на 25 %. В современном комплексе «Евразия» в Москве, высотой 309 м применены комбинированные перекрытия и конструкции стволов жесткости. Использование таких конструкций по сравнению с чисто железобетонными, позволило снизить собственный вес и увеличить внутреннее пространство здания [11]. Наиболее высоким в Европе из реализованных зданий, является небоскреб Лахта Центр (Санкт-Петербург) имеющий высоту 462 метра. Реализация этого проекта подняла уровень строительной отрасли нашей страны и способствовала появлению норм проектирования, в частности

СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» и СТО АРСС 11251254.001-018-4 (в развитие СП 266.1325800.2016).

В европейских странах для проектирования сталежелезобетонных каркасов используют Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures, EN 1994-1-1, 2007 [9, 10]. Выполненное сопоставление СП 266.1325800 и Еврокода 4 показало, что принципиальных противоречий в постановке расчетов не имеется. В обоих документах даны правила расчета прочности и устойчивости сталежелезобетонных конструкций, сопротивления поперечных сечений, расчета на выносливость, расчеты по деформациям. Однако в Еврокоде 4, в отличие от СП 266.1325800, содержится описание более широкого круга вопросов проектирования сталежелезобетонных конструкций, не только как самостоятельных элементов, но как элементов и узлов каркасов зданий и сооружений. Отечественные нормы рекомендаций к расчету либо учету характеристик и свойств узлов конструкций не предлагают.

Как показали экспериментальные исследования, проведенные в лаборатории КазГАСУ [5...8], существующие стандарты организаций и своды правил РФ, имеющие разделы, посвященные расчетам сталежелезобетонных конструкций, не полностью отражают фактическую работу сталежелезобетонных конструкций. Композиционное сечение элементов узла сталежелезобетонного каркаса требует оценки перераспределения напряжений между составными его частями. Среди основных факторов, требующих детального анализа можно выделить следующие:

- 1) свойство сталежелезобетонных конструкций изменять свое равновесное состояние после укладки бетонной смеси в опалубку;
- 2) влияние начальной усадки и начальной ползучести бетона на перераспределение напряжений, а также на развитие прогибов в изгибаемых конструкциях;
- 3) влияние развития упругопластических деформаций бетона на образование дополнительных напряжений в стальной части (эффект догружения);
- 4) влияние податливости шва контакта из-за близкого расположения к нейтральной зоне сечения композитной балки.

Численное моделирование с помощью ПК Ansys может помочь с решением ряда вышеуказанных задач без проведения дорогостоящих и технически сложных натурных испытаний [4].

В качестве объекта исследования выбрано 32-х этажное здание, симметричное в плане, общей высотой 130 метров, с максимальными размерами типового этажа в плане 33,0 м, (рис. 1), для каркаса которого выполнен расчет с помощью ПК Лира. Статический расчет выполнялся в линейной постановке задачи, с учетом требований нормативных документов по определению нагрузок и созданию расчетных моделей. В результате расчета подтверждена требуемая прочность и жесткость элементов каркаса и здания в целом. Сталежелезобетонный каркас принят из колонн железобетонных со стальным сердечником в виде двутавра, общим сечением от 500×500 мм, комбинированных балок – 300×400 мм и монолитных железобетонных перекрытий по стальному профилированному настилу. По результатам статического расчета сталежелезобетонного каркаса здания в ПК Лира, выделены 13 расчетных случаев стыков балок с колоннами по высоте каркаса и положению в плане, в зависимости от соотношений, полученных из статического расчета усилий N , M , Q .

Для дальнейшего исследования в ПК Ansys принят узел стыка балок перекрытия первого этажа с крайней колонной. Размер фрагмента стыка определялся до зоны нулевых моментов, полученных из статического расчета каркаса, (рис. 2, а). Крепление металлической части рамного узла принято на болтовых соединениях на опорные пластины, по аналогии с рамным узлом крепления стальных конструкций, (рис. 2, б), сечение элементов учитывало наличие гибкой стержневой арматуры.

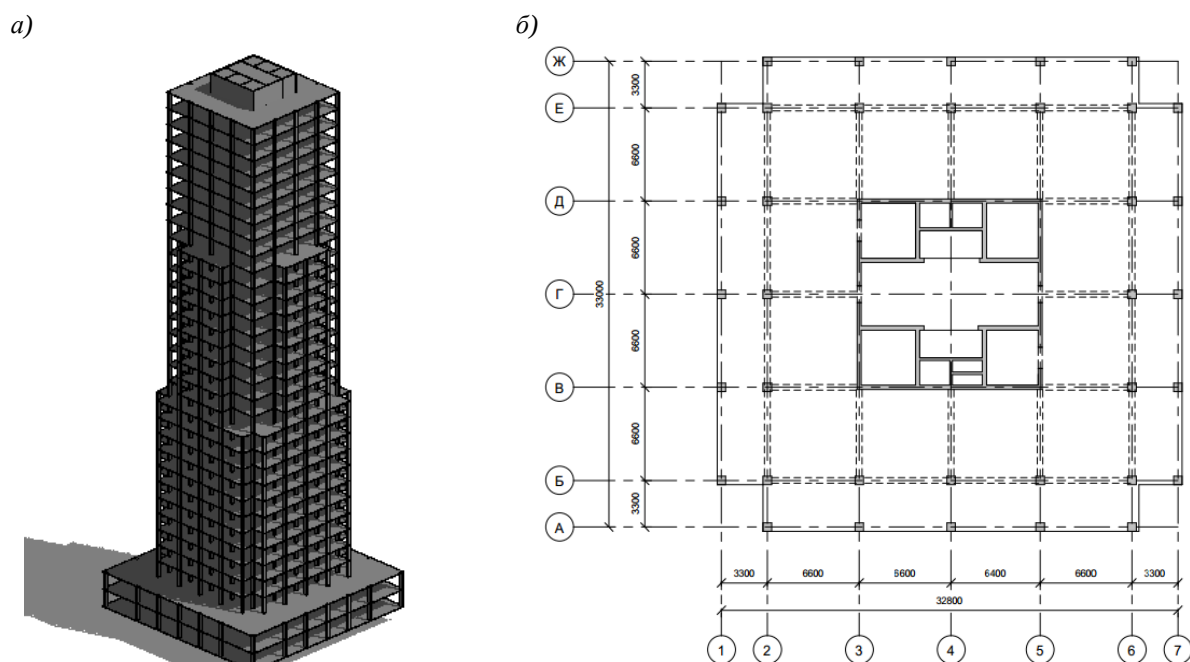


Рис. 1 – Несущая система высотного здания:
а – пространственная модель в ПК Revit; б – план типового этажа

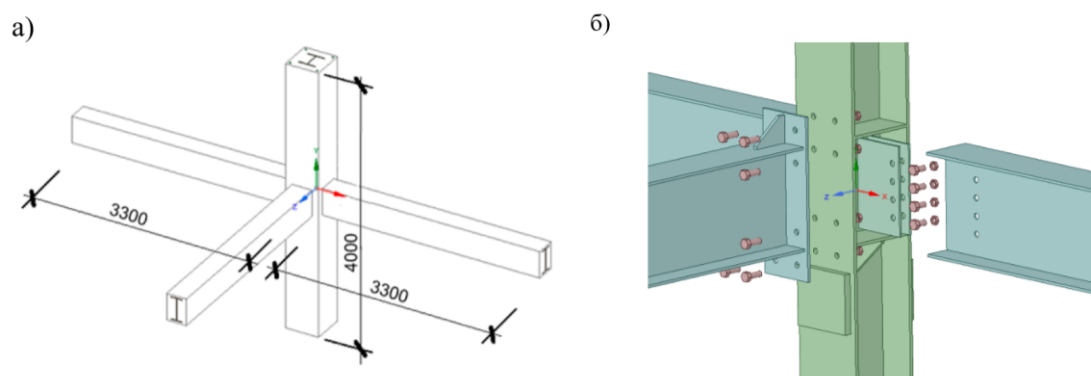


Рис. 2 – Моделирование узла в ПК Ansys:
а – размеры и общий вид сопряжения элементов каркаса;
б – схема соединения стальных элементов узла

Для упрощения модели в расчете боковые балки были заменены эквивалентными нагрузками на пластины узла. На болты прикладывалось усилие предварительного затяжения. С учетом расположения в каркасе на колонну кроме продольного усилия от вышележащей части здания действует изгибающий момент.

Особенностью сталежелезобетонных конструкций является последовательное включение элементов сечения в работу – изначально стальная конструкция, далее получает нагрузку от материала обетонирования, которые набирают прочность в течение определенного периода времени, в дальнейшем включаясь в работу и в итоге происходит совместное восприятие элементами эксплуатационных нагрузок [11]. В исследовании были учтены следующие стадии работы стыка (рис. 3):

Стадия 1: стальные конструкции до обетонирования, учитывались собственный вес металлической конструкции и изгибающие моменты в узлах от действия ветровых нагрузок.

Стадия 2: помимо собственного веса металлической конструкции и изгибающих моментов в узлах от действия ветровых нагрузок, действует нагрузка от веса еще не набравшего необходимой прочности бетона. Нагрузка от бетона, не включённого в работу на этом этапе, моделировалась как равномерно-распределённая нагрузка, приложенная на колонну и балки исследуемой конструкции.

Стадия 3: бетон уже включается в работу, т.е. имеет собственную набранную прочность и жесткость. Моделируются также собственный вес стальной и бетонной части и изгибающие моменты в узлах от действия ветровых нагрузок.

Стадия 4: учитываются эксплуатационные нагрузки от междуэтажного перекрытия на балку, нагрузка и изгибающий момент от вышележащих конструкций на колонну, полученные из статического расчета каркаса здания при действии всех эксплуатационных нагрузок.

Верификация компьютерной модели выполнена путём сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными [8]. Бетон и стальной прокатный двутавр моделировались с помощью конечных элементов типа Solid187, арматура и анкера - Beam188. Для моделирования контактного взаимодействия бетона и арматуры использовались элементы: CONTACT173 и TARGET170 с коэффициентом трения 0,8 [12] и характером контакта Bonded («связанный»). Полученные результаты моделирования показали удовлетворительную сходимость, что позволило принять окончательные характеристики для элементов рассматриваемого узла.

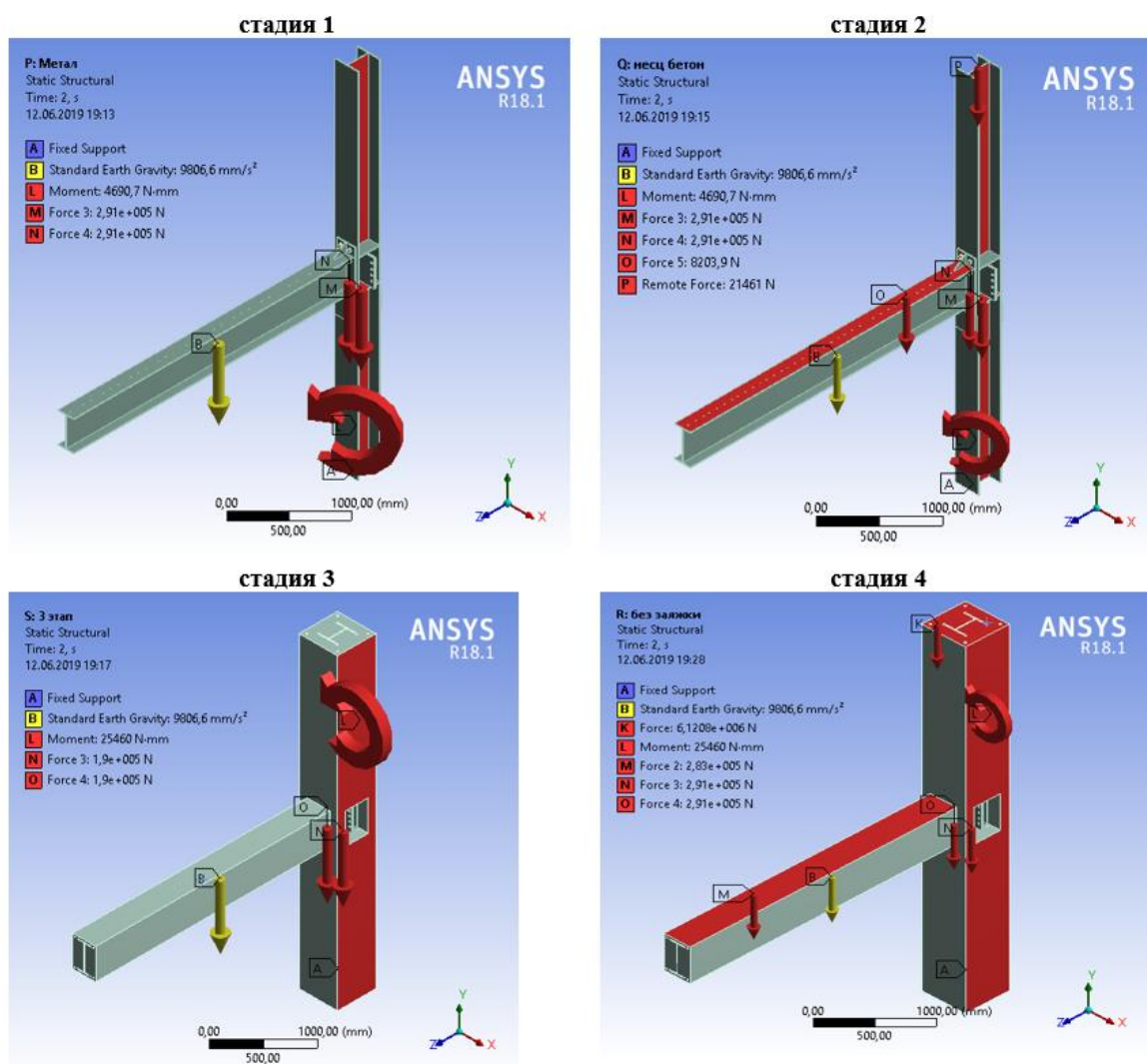


Рис. 3 – Вид модели с приложенными нагрузками с учетом стадийности

В результате расчета программным комплексом Ansys для каждой из стадий работы сталежелезобетонного стыка получены перемещения и напряжения во всех конструктивных элементах. Узел находится в сложном напряженно - деформированном состоянии.

Прогибы балки и перемещения колонны, (рис. 4) изменяются по схожему принципу - максимальные в стадии эксплуатации. Так же наблюдается значительное увеличение деформаций, до 65 % максимальных значений, на второй стадии работы узла.

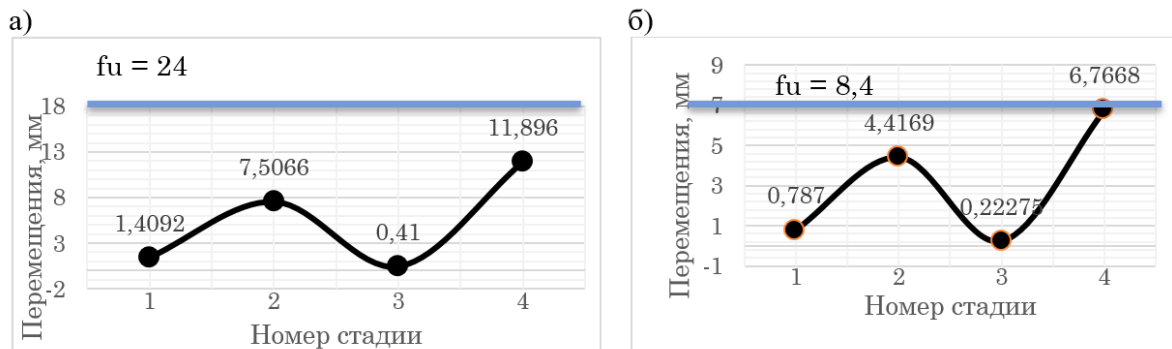


Рис. 4 – Величина перемещений в балке (а) и колонне (б) с учетом стадий работы узла

Напряжения, полученные для жесткой арматуры конструкции на всех стадиях и во всех контрольных точках, не превышают нормативных и расчетных предельных значений. Однако в бетоне балки (верх и низ на опоре) на стадии эксплуатации напряжения растяжения и сжатия соответственно превысили нормативные и расчетные пределы прочности, что свидетельствует о наличии трещин и возможном выключении из работы данной части сечения бетона. Характер распределения напряжений и деформаций и их максимальные величины в поперечных сечениях элементов стыка показаны в табл. 1, по длине элементов - в табл. 2. Характер распределения напряжений по длине элемента изменяется, в целом подтверждая «жесткую» схему работы балки на опоре.

Положение нейтральной оси в элементах стальной и бетонных частей в сечении балки на стадии эксплуатации, численные значения и площади сжатой и растянутой зон приведены на рис. 5, что позволяет сравнить полученные результаты моделирования с известными методиками расчета.

Анализ полученных результатов показал, что в металлических конструкциях до обетонирования могут проявляться местные потери устойчивости, в частности в стенке двутавра балки, которые могут привести к общей потере устойчивости элементов.

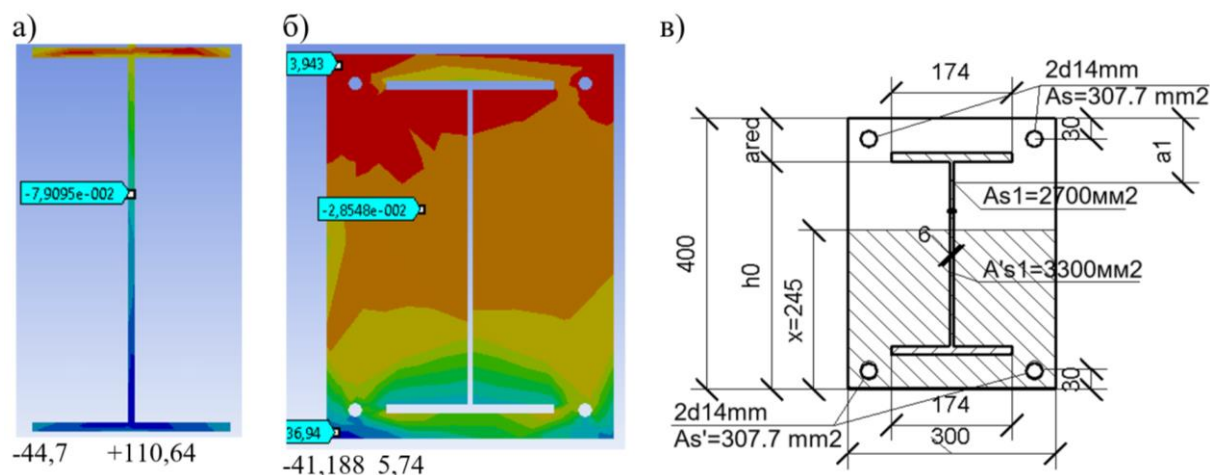
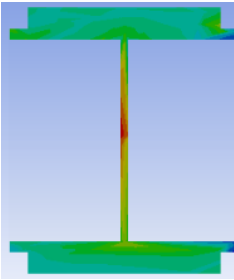
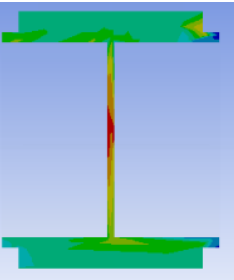
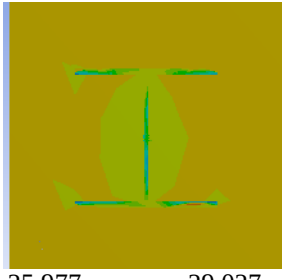
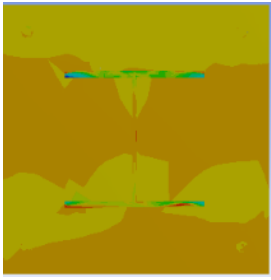
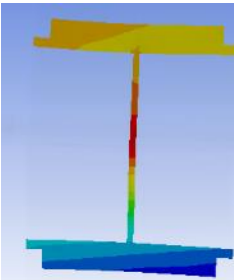
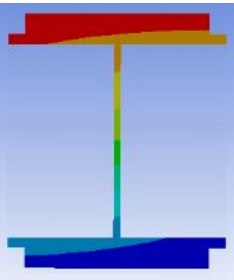
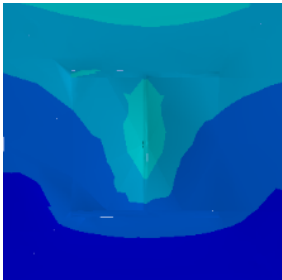
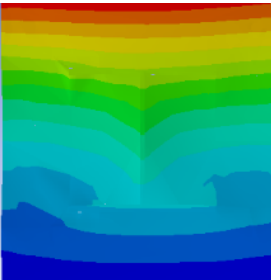
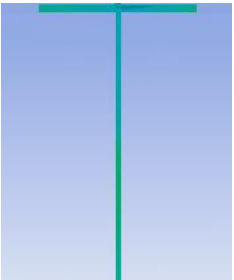
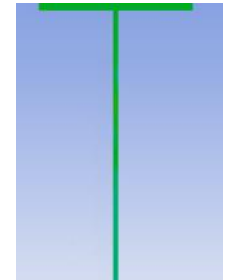
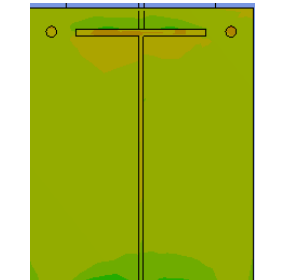
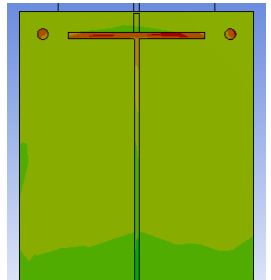
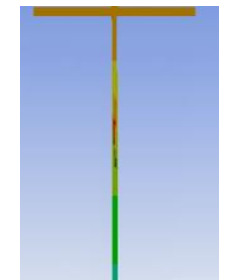
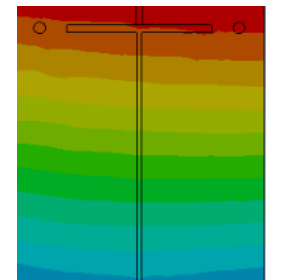
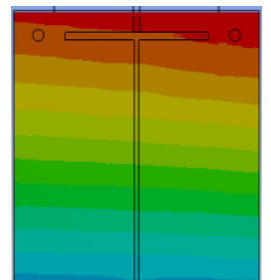


Рис. 5 – Распределение напряжений (МПа) в балке на опоре:

а – напряжения в жесткой арматуре, б – напряжения в бетоне, в – полученная расчетная схема

Таблица 1

Напряжения и деформации в поперечных сечениях колонны и балки в зоне стыка

	Стадии возведения конструкции			
	1	2	3	4
Напряжения в колонне в опорном сечении, МПа	 -13,423 28,476	 -13,494 27	 -25,977 29,027	 -73,71 33,555
Деформации в колонне в опорном сечении, мм	 +0,556 -0,64163	 +1,1657 -1,4107	 +7,9e-002 -0,19703	 +2,268 -3,0217
Напряжения в балке в опорном сечении, МПа	 -4,8481 24,233	 -14,229 36,2	 -1,9 3,559	 -64,79 127,69
Деформации в колонне в опорном сечении, мм	 +0,590 -0,695	 +1,209 -2,15	 +0,10559 -0,13	 +3,006 -4,3015

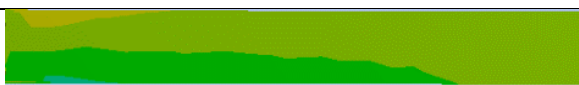
Подтверждена необходимость для стадии монтажа проектировать металлическую часть конструкции, исходя из методик расчета стальных конструкций на местную и общую устойчивость.

Кроме того, расчеты показали, что обетонирование конструкций значительно повышает жесткость металлических конструкций: деформации в сечении снижаются примерно на 40 %, значительно изменяется уровень и характер распределения напряжений.

В зависимости от выделенных расчетных стадий работы конструкций меняется и напряжение в стальных болтах: интенсивность внутренних усилий от 1 до 4 стадии увеличивается практически в 8 раз, так же наблюдается скачок напряжений в 1,5...2 раза на второй стадии и релаксация напряжений на третьей. На стадии эксплуатации напряжения близки к предельным значениям, следовательно, надежность стыка необходимо дополнительно обеспечить, например, при помощи сварных соединений элементов.

Таблица 2

Напряжения в продольном сечении балки и колонны

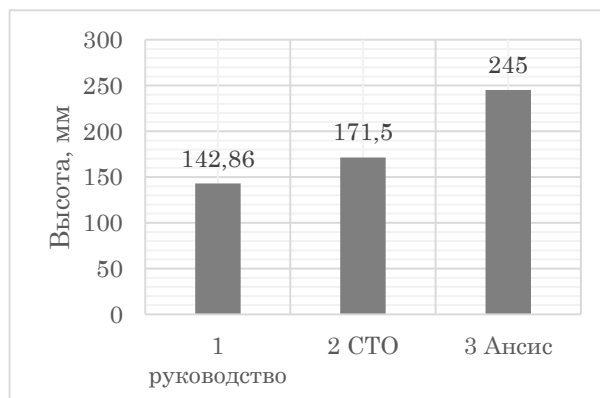
Стадия	Напряжения в балке (опора слева), МПа						
	Профиль		Бетон				
1	 4,1173 -1,8912e-002		-				
2	 -18,50521,356		-				
3	 -2,56191,6424		 -1,6108 0,81094				
4	 -88,951 154,67		 -30,2 5,428				
Напряжения в колонне с учетом стадий, МПа							
Профиль				Бетон			
1	2	3	4	1	2	3	4
 -71,955,3	 -73,9 56	 -92,855	 -144,3 105,5	-	-	 -3,3 0,9	 -27,8 2,7

По результатам моделирования выполнено сравнение с проверочными расчетами сечения балки на опоре по двум отечественным методикам: «Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой», М.: Стройиздат, 1978 и СТО АРСС 11251254.001-018-4, по высоте сжатой зоны x и предельному моменту, воспринимаемому сечением, (рис. 6) Расчетные формулы методик и полученные результаты приведены в табл. 3.

Расчеты расчетов показывают близкие значения, однако в результате расчета по второй методике прочность сечения обеспечена, по первой – нет, так как изгибающий момент из статического расчета составляет 46,4 кНм. Несмотря на то, что высота сжатой зоны по методике СТО ближе к полученной в результате моделирования, характер распределения напряжений (с возможным появлением трещин в сжатой зоне) не дает сделать окончательный вывод по оптимальности рассмотренных методик. Необходимо подтверждение результатов экспериментальными исследованиями фрагментов конструкций.

Таблица 3

Методики расчета		
Методика	Параметр	Значение
Руковод- ство	$x = \frac{2R_{аж}r\delta_c + R_aF_a - R_{ac}F'_a}{bR_{нр} + 2R_{аж}\delta_c} > \bar{a}$	142,86 мм
СТО	$x = \frac{R_y(b_{f1}t_{f1} - b_{f2}t_{f2} - t_w(2c + 2t_{f1} + h_w)) + R_b(t_{f1}(t_w - b_{f1}) + t_w c - A'_s) - R_s A_s + R_{sc} A'_s}{-2R_y t_w - R_b(b - t_w)}$	171,5 мм
Руковод- ство	$M = R_{нр} \frac{bx^2}{2} + R_{ac} F'_a (x - a') + R_{аж} [W_{жл} + (r - x)^2 \delta_c] + R_a F_a (h' - x)$	43.6 кНм
СТО	$M_{нр} = R_b(bx - A'_s - A'_{st})(H - a_2 - a_1) + A'_s R_{sc}(H - a_1 - a') +$ $+ R_y \left(b_{f1} t_{f1} \left(H - a_1 - c - \frac{t_{f1}}{2} \right) + t_w (x - c - t_{f1}) \left(H - a_1 - c - t_{f1} - \frac{x - c - t_{f1}}{2} \right) \right) =$	49.2 кНм

Рис. 6 – Высота сжатой зоны x , полученная по различным методикам

Заключение.

По результатам моделирования узла в ПК Ansys установлен характер распределения напряжений и деформации в материалах элементов с учетом стадийности работ. Характер распределения напряжений в опорном сечении балок, с наличием растянутой зоны длиной около 1/3 пролета балки в верхней части сечения и сжатой в нижней части, подтверждает жесткую (рамную) работу стыка.

Расчеты показывают, что в металлических конструкциях до обетонирования может проявиться местная потеря устойчивости. Для стадии монтажа металлическую часть конструкции следует проектировать исходя из методик расчета стальных конструкций, с учетом требований к местной и общей устойчивости.

На стадии эксплуатации возможно выключение из работы сжатой зоны бетона балки на опоре, что необходимо учесть при расчете на прочность. Напряжения в стальных болтах соединяющих элементы каркаса в узле значительно изменяются, что может привести к их преждевременному разрушению, следовательно необходимо дополнительно обеспечивать прочность стыка (болты использовать только для стадии монтажа).

Установленные в ходе выполнения расчетов в ПК Ansys размеры сжатой зоны бетонной части сечения и стального сердечника могут быть использованы для уточнения расчета прочности элементов и узла в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кибирева, Ю. А.** Применение конструкций из сталежелезобетона / Ю. А., Кибирева, Н. С. Астафьева // Экология и строительство. – 2018. – № 2. – С. 27-34.
2. **Травуш, В. И.** Отечественный и зарубежный опыт исследований работы сталежелезобетонных конструкций на внецентренное сжатие / В. И. Травуш, Д. В. Конин, Л. С. Рожкова, А. С. Крылов // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 5(67). – С. 31-44.
3. **Травуш, В. И.** Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций, работающих на внецентренное сжатие / В. И. Травуш, Д. В. Конин, Л. С. Рожкова, А. С. Крылов, С. С. Каприелов, И. А. Чилин, А. С. Мартиросян, А. И. Филкин // ACADEMIA. Архитектура и строительство. – 2016. – № 3. – С. 127-135.
4. **Мартиросян, А. С.** Исследование влияния геометрии жесткой арматуры на распределение нагрузки в элементах сталежелезобетонной колонны / А. С. Мартиросян, В. И. Травуш, Г. Г. Кашеварова // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 1. – С. 147-157.
5. **Замалиев, Ф. С.** Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций на крупномасштабных моделях / Ф. С. Замалиев., Р. И. Шаймарданов // Известия КазГАСУ. – 2008. – № 2(10). – С. 47-52.
6. **Замалиев, Ф. С.** Численные и натурные эксперименты в исследованиях сталежелезобетонных конструкций. / Ф. С. Замалиев, И. А. Гурьянов, Р. И. Шаймарданов, Ш. Н. Хайрутдинов // Известия КГАСУ. – 2012. – № 1(19). – С. 46-52.
7. **Замалиев, Ф. С.** Экспериментальные исследования сталежелезобетонных балок таврового сечения / Ф. С. Замалиев, Э. Г. Биккинин // Известия КазГАСУ. – 2014. – № 4(30). – С. 134-138.
8. **Замалиев, Ф. С.** Экспериментальные исследования начального напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных балок и плит / Ф. С. Замалиев, Э. Г. Биккинин // Известия КазГАСУ. – 2015. – № 2(32). – С. 149-153.
9. **Роджер П. Джонсон.** Руководство для проектировщиков к Еврокоду 4: Проектирование сталежелезобетонных конструкций (пер. с англ.). – МГСУ. – 2013. – 412 с.
10. **Климов, А. Н.** Проектирование сталежелезобетонных конструкций по евро нормам // Технологии бетонов. – 2015. – № 5-6. – С. 59-61.
11. **Фабричная, К. А.** Исследование напряженно-деформированного состояния элементов опорного узла консоли в ПК ANSYS/ К. А. Фабричная, А. М. Саубанова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 3(10). – С. 24-33.
12. **Травуш, В. И.** Изучение процесса разрушения связей сцепления при вдавливании стержня жесткой арматуры в бетон. Экспериментальные исследования / В. И. Травуш, Г. Г. Кашеварова, А. С. Мартиросян, В. С. Кузьминых // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2016. – Т. 12. – № 1. – С. 140-146.

Поступила в редакцию 28 октября 2019

RESEARCH STRESSED-DEFORMED STATE OF THE NODE STEEL-CONCRETE BUILDING FRAME IN ANSYS PC

K. A. Fabrichnaya, C. F. Farrahova

Fabrichnaya Ksenia Alexandrovna, Cand. tech. Sciences, associate Professor, Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation, phone: +7(843)5104605; e-mail: Fabrichnayaka@gmail.com

Farrahova Chulpan Fasilovna, graduate student, Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation. phone: +7(917)226-68-06; e-mail: chul-paf@yandex.ru

The article presents the results of computer simulation of the lateral node of the joint of columns and beams of steel-reinforced concrete frame of a high-rise building. The node, sections of its elements and efforts in it are determined by the results of static calculation of the model in the LIRA PC. The node was modeled using Ansys PC in a linear statement of the problem. The main factors that need analysis are identified - the property of steel-reinforced concrete structures to change their equilibrium state after laying the concrete mix in the formwork and the redistribution of stresses and changes in deformations when the concrete section is included in the work. Four stages of the construction life cycle are considered, depending on the mounting stage: steel elements work before concreting; state during concrete curing; combined section work without application of operational loads, work at the exploitation stage. As a result of the studies, a change in the stress-strain state of the elements of the node at the stages of installation of steel-reinforced concrete structures was found, necessary to clarify the methods for calculating the joint.

Keywords: computer modelling; ansys; stress-deformed state; the console; high-rise building; steel-reinforced concrete frame; mounting sequence.

REFERENCES

1. **Kibireva Yu. A., Astafyeva N. S.** *The use of steel-reinforced concrete structures.* Ecology and construction. 2018. No. 2. Pp. 27-34. (in Russian)
2. **Travush V. I., Konin D. V., Rozhkova L. S., Krylov A. S.** *Domestic and foreign experience in research of composite structures for eccentric compression.* Construction and reconstruction. 2016. No. 5(67). Pp. 31-44. (in Russian)
3. **Travush V. I., Konin D. V., Rozhkova L. S., Krylov A. S., Kaprielov S. S., Chilin I. A., Martirosian A. S., Filkin A. I.** *Experimental study of composite structures, working for eccentric compression.* ACADEMIA, Architecture and construction. 2016. No. 3. Pp. 127-135. (in Russian)
4. **Martirosyan A. S., Travush V. I., Kashevarova G. G.** *Study of the influence of the geometry of rigid reinforcement on the load distribution in the elements of a steel-reinforced concrete column.* Bulletin of PNIPU. Applied Ecology. Urban studies. 2017. No. 1. Pp. 147-157. (in Russian)
5. **Zamaliyev F. S., Shaimardanov R. I.** *Experimental studies of steel-concrete structures on large-scale models.* News of KazGASU. 2008. No. 2(10). Pp. 47-52. (in Russian)
6. **Zamaliyev F. S., Guryanov I. A., Shaimardanov R. I., Khayrutdinov Sh. N.** *Numerical and full-scale experiments in the study of steel-reinforced concrete structures.* News of KazGASU. 2012. No. 1(19). Pp. 46-52. (in Russian)
7. **Zamaliyev F. S., Bikkinin E. G.** *Experimental studies of steel-reinforced concrete beams of T-section.* News of KazGASU. 2014. No. 4(30). Pp. 134-138. (in Russian)
8. **Zamaliyev F. S., Bikkinin E. G.** *Experimental studies of the initial stress-strain state of steel-reinforced concrete beams and plates.* News of KazGASU. 2015. No. 2(32). Pp. 149-153. (in Russian)

9. **Roger P., Johnson.** *Guide for designers to Eurocode 4: Design of steel-reinforced concrete structures (trans. From English).* MGSU. 2013. 412 p. (in Russian)
10. **Klimov A. N.** *Design of steel-reinforced concrete structures according to Eurocodes.* Technologies of Concrete 2015. No. 5-6. Pp. 59-61. (in Russian)
11. **Fabrichnaya K. A., Saubanova A. M.** *Investigation of the stress-strain state of elements of the reference node of the console in the PC ANSYS.* Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 3(10). Pp. 24-33. (in Russian)
12. **Travush V. I., Kashevarova G. G., Martirosyan A. S., Kuz'minykh V. S.** *The study of the process of breaking the bonds of adhesion when indenting a rod of rigid reinforcement into concrete. Experimental studies.* International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. Vol. 12. No. 3(10). Pp. 24-33. (in Russian)

Received 28 October 2019

Для цитирования:

Фабричная, К. А. Исследование напряженно-деформированного состояния узла сталежелезобетонного каркаса здания в ПК ANSYS / К. А. Фабричная, Ч. Ф. Фаррахова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 25-35.

FOR CITATION:

Fabrichnaya K. A., Farrahova C. F. *Research stressed-deformed state of the node steel-concrete building frame in ANSYS PC.* Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 4(11). Pp. 25-35. (in Russian)

УДК 693.554.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ, ПОДАТЛИВОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ОПРЕССОВАННЫХ СТЫКОВ АРМАТУРЫ

Т. Р. Баркая, А. В. Гавриленко, С. А. Соколов, Р. З. Цыбина

Баркая Темур Рауфович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Российская Федерация, тел.: +7(4822)78-83-31; e-mail: btrs@list.ru

Гавриленко Алексей Владимирович, ассистент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Российская Федерация, тел.: +7(4822)78-83-31; e-mail: gawaw@mail.ru

Соколов Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Российская Федерация, тел.: +7(4822)78-83-31; e-mail: gek.tver@mail.ru

Цыбина Раиса Захаровна, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Российская Федерация, тел.: +7(4822)78-83-31; e-mail: zubina-rz@mail.ru

В статье приводится информация о проведённом экспериментальном исследовании основных физико-механических характеристик опрессованных соединений арматуры. Рассмотрению подвергалась арматура класса А500С диаметрами 18, 20 и 25 мм. Исследовались прочность, податливость и деформативность стыков на образцах с различными условиями опрессовки муфт на стержни арматуры. Результаты испытаний показали возможность равнопрочной стыковки арматурных стержней опрессовкой муфты при действии статических нагрузок. Деформативность стыкового соединения не превышает соответствующих деформаций аналогичных цельных арматурных стержней.

Ключевые слова: арматура; муфта; механическое соединение; опрессованный стык; испытание на растяжение.

В настоящее время в нашей стране возводится большое количество зданий с монолитным несущим каркасом. Технология производства арматурных работ в подобных зданиях предусматривает устройство стыков арматуры по длине в изгибаемых и сжатых элементах. Одним из наиболее распространённых типов стыковки является стыковка внахлёт, при этом стержни от места стыка заводятся в тело конструкции не менее чем на длину анкеровки, что приводит к перерасходу арматуры до 27 % при использовании стержней диаметрами 32...40 мм [1]. Кроме того, в железобетонном сечении в месте стыка нахлёстом возникает скопление большого количества арматуры – фактически, наблюдается удвоение соотношения площади арматуры к площади бетона относительно сечений, в которых нет стыка [2], что может привести к затруднениям при проведении бетонных работ [1]. Недостатком соединения арматурных стержней нахлёстом можно считать также путь передачи усилия в арматуре: посредством сил сцепления усилие с одного из арматурных стержней передаётся сначала на бетон, а затем, также за счёт сил сцепления, усилие переходит с бетона на другой арматурный стержень [3]. Тем самым, прочность соединения зависит от прочности бетона. При повреждении или разрушении части бетона прочность нахлесточного соединения резко снижается, что может привести к разрушению всей конструкции [1]. Соединения нахлёстом не считаются надёжными при действии циклических нагрузок [4].

В качестве альтернативы соединению стержней нахлёстом можно рассматривать сварные и механические соединения.

Сварные соединения оказываются весьма неэффективными с точки зрения цены и сроков выполнения. Кроме того, качество сварного соединения арматурных стержней сильно зависит от квалификации сварщика [4].

Механические соединения арматурных стержней разработаны в большом количестве вариантов, что позволяет использовать их в практически любых реально возникающих при проектировании и строительстве ситуациях [2]. Среди механических соединений можно выделить резьбовые соединения и соединения, выполняемые опрессовкой муфты.

В различных источниках отмечаются многочисленные преимущества механических соединений относительно сварных и соединений нахлестом. В частности, среди достоинств можно отметить: простоту и скорость выполнения соединения [2, 5]; снижение расхода арматуры до 3...5 % относительно соединения нахлестом [5]; механические соединения арматуры оказываются более эффективными по стоимости, чем сварные соединения [2]; прочность механического соединения не зависит от прочности окружающего бетона [5], что повышает надёжность конструкции; прочность механического соединения может быть до 1,2...1,5 раза выше прочности соединяемых стержней [3]; относительно соединения нахлестом, механическое соединение может развить большую деформацию перед тем, как произойдёт его разрушение [2, 3]; механическое соединение, особенно ряд исполнений резьбовых соединений, существенно снижает количество арматуры в сечении с механическим стыком относительно сечения со стыком нахлестом, вследствие чего может быть уменьшено количество пустот в конструкции при бетонировании [5]; в ряде случаев может быть уменьшено сечение элемента, например, колонны, что позволяет получить больше полезного пространства на этажах [2]; отмечаются также другие достоинства [5].

Большое количество экспериментальных исследований посвящено изучению характера работы механических резьбовых соединений [1, 2, 6, 7]. Предложены также способы расчёта резьбовых соединений арматуры [6, 8]. В тоже время резьбовым соединениям присущи некоторые недостатки. Так, в работе [6] отмечается, что прочность муфтового резьбового соединения в значительной степени зависит от качества выполнения резьбы; наблюдается пониженное сопротивление муфтовых резьбовых соединений; модуль деформации соединения снижен относительно модуля деформации цельного стержня, что необходимо учитывать при расчёте деформаций и ширины раскрытия трещин. В [1] также указывается, что использование муфтовых соединений арматуры винтового профиля с большой податливостью приводит к возрастанию прогибов и раскрытию трещин до недопустимых величин. Кроме того, выполнение резьбы на торцах стержней требует применения специализированных устройств и оборудования, для размещения которых может потребоваться отапливаемое строение в пределах строительной площадки.

Весьма перспективным представляется использование опрессованных муфт, однако имеющаяся на данный момент научная и техническая документация по данному типу соединений развита в недостаточной мере, что препятствует широкому внедрению этой технологии в строительную практику. Наблюдается также недостаток экспериментальных исследований характера работы данного типа соединений. Некоторая обобщённая информация по работе опрессованных соединений может быть найдена в работе [1], а исследование поведения стыков, выполненных с применением некоторых моделей обжимных муфт, было выполнено в [9].

Целью предлагаемой работы была экспериментальная проверка прочности, податливости и деформативности опрессованных стыков арматурных стержней. Ввиду перспективности класса арматуры А500С [10], работа механические обжимных муфтовых соединений рассматривалась на стержнях арматуры указанного класса диаметрами 18 мм, 20 мм и 25 мм. Стыки были выполнены с помощью системы гидравлической опрессовки муфт ПО100М производства компании ООО «Транстехкомплект». Использовались муфты соединительные производства ООО «ЭкоСтройПроект», изготовленные в соответствии с ТУ

4842-003-75604862-2012. Опрессовка была произведена на предприятии ООО «Мостмеханика» в г. Санкт-Петербург.

При проведении испытаний использовались следующие образцы:

✓ образцы группы «0»: стержни арматуры соответствующих диаметров, испытанные на растяжение по методике ГОСТ 12004-81 для определения их фактических прочности и деформативности;

✓ образцы группы «D»: два отрезка арматурных стержней, соединённые опрессовкой муфты (рис. 1, а), длина элемента составляла 550 мм, зазор между торцами стержней варьировался от 0 до 1,5 мм.

✓ образцы группы «А»: муфта, опрессованная на цельном стержне (рис. 1, б), использовались для определения физико-механических характеристик муфты.

✓ образцы группы «С»: арматурный стержень с муфтами, опрессованными по концам и образцы группы «I»: арматурный стержень, в центре которого опрессовывалась муфта (рис. 1, в) использовались для выявления величины проскальзывания муфты относительно стержня.

✓ образцы группы «В»: стержни арматуры, соединённые муфтой, при этом расстояние между торцами арматуры внутри муфты задано равным 20 мм (рис. 1, г); на данных образцах на базе длиной 20 мм измерялась деформативность муфты, дополнительное испытание данных образцов позволило выявить характер работы соединения при его возможном некачественном выполнении.

а)



б)



в)



г)



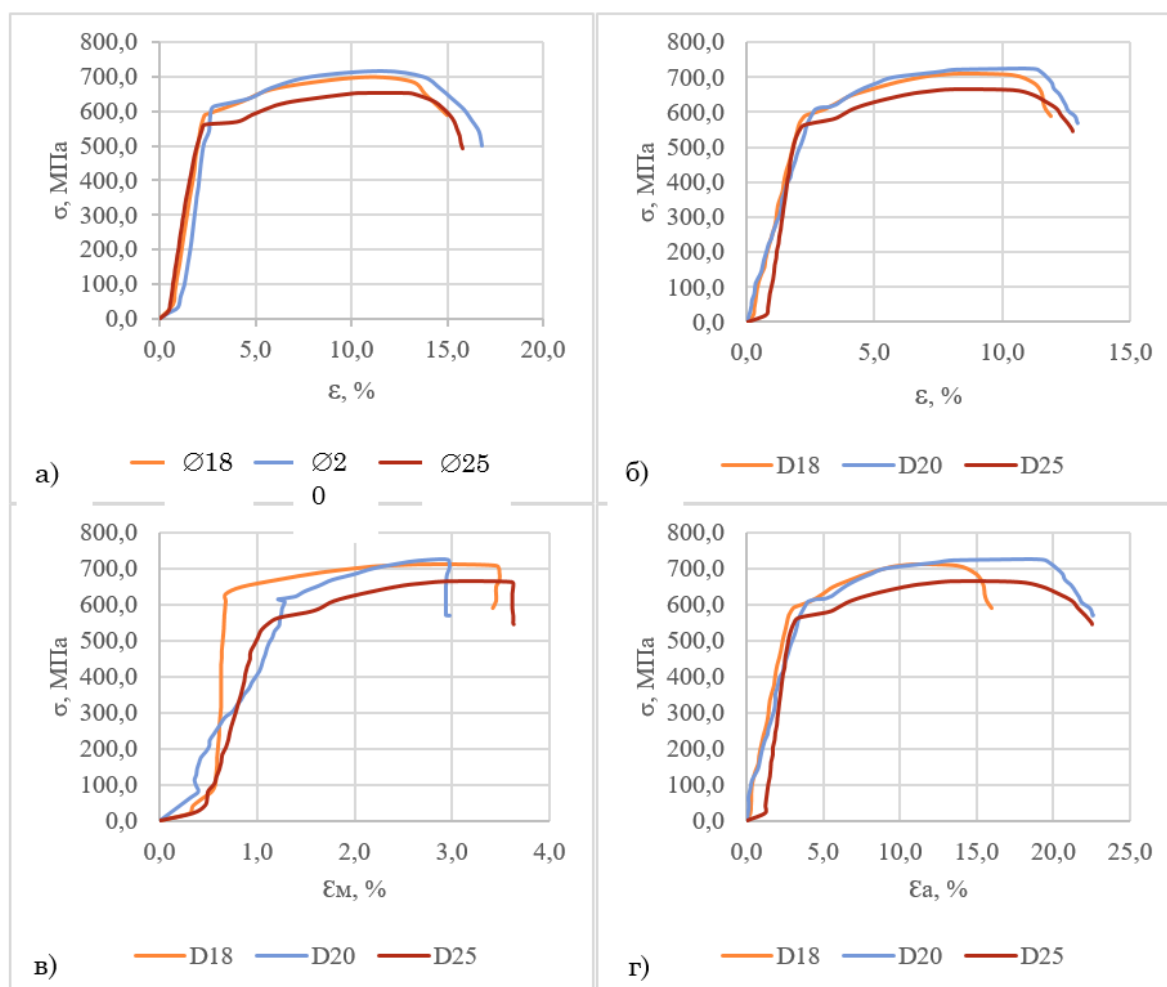
Рис. 1 – Опрессованные соединения арматуры:

а – образцы группы «D»; б – образцы группы «А»; в – образцы групп «С» и «I»;
г – образцы группы «В»

Группы «А», «В» и «D» содержали по три образца каждого из рассматриваемых диаметров, а группы «С» и «I» – по два образца каждого диаметра.

Испытания проводились на разрывной машине ИР-500. Деформации измерялись датчиками часового типа, прогибомерами ПАО-6, а также штатным измерителем перемещений машины ИР-500.

По результатам испытаний было установлено, что площадка текучести для образцов группы «0» отмечалась при напряжениях порядка 560 – 605 МПа при относительной деформации около 2 %. Относительное удлинение образцов при разрыве составляло 15...16,8 %. Диаграмма σ – ϵ для арматуры показана на рис. 2, а.

Рис. 2 – Диаграммы σ – ϵ образцов:

а – диаграмма для арматуры; б – диаграмма для образцов группы «D»;

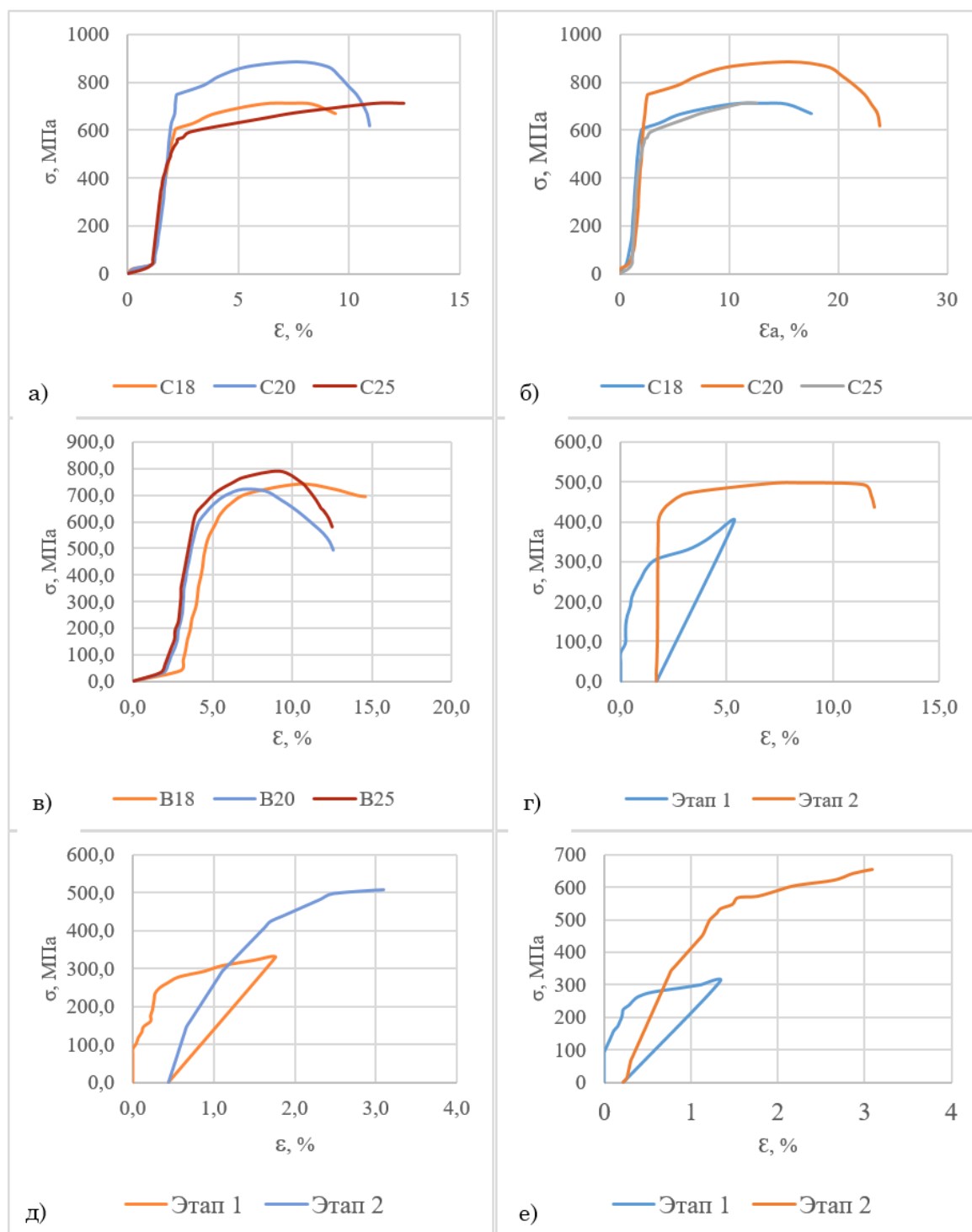
в – диаграмма σ – ϵ муфт образцов группы «D»; г – диаграмма σ – ϵ арматуры образцов группы «D»

Все образцы серии «D» разрушились по материалу арматурных стержней. Относительное удлинение соединений при разрыве составляло 11,9 % для арматуры Ø 18 мм, 12,9 % для Ø 20 мм и 12,7 % для Ø 25 мм. Удлинение всего соединения при напряжениях, соответствующих R_{sn} ($\sigma = 500$ МПа), составляло 1,8 % для арматуры Ø 18 мм, 2,2 % для Ø 20 мм и 1,8 % для Ø 25 мм. Удлинение в пределах муфты при уровне напряжения 500 МПа составляло 0,6 %, 1,1 % и 1,0 % для стыков стержней Ø 18 мм, Ø 20 мм и Ø 25 мм соответственно. Вычисленное удлинение арматурной части, включающее проскальзывание при $\sigma = 500$ МПа, составило 2,3 %, 2,3 %, 2,7 % для Ø 18 мм, Ø 20 мм и Ø 25 мм соответственно, а при разрушении: 16,0 %, 17,1 %, 22,5 %.

Диаграммы σ – ϵ для всех образца группы «D», а также диаграммы для муфты и арматуры данных образцов приведены на рис. 2, б...г.

Разрушение образцов серии «С» также произошло по арматуре. Относительное удлинение всего соединения при напряжениях, соответствующих R_{sn} ($\sigma = 500$ МПа) составляло 1,9 %, 1,8 % и 1,94 %. Диаграммы σ – ϵ для образцов группы «С» и арматуры данных образцов представлены на рис. 3, а и б.

Испытания серии «В» производились в 2 этапа. На первом этапе захват производился за стержни и производилось нагружение до разрушения арматуры; на втором этапе захват производился за муфту и к образцу прикладывалась нагрузка до разрушения муфты по слабому сечению, т.е. в месте искусственно устроенного зазора в 20 мм.

Рис. 3 – Диаграммы σ - ϵ :

- а – диаграмма для всего образца группы «С»; б – диаграмма для арматурной части образца группы «С»;
 в – диаграмма для всего образца группы «В»; г – диаграмма для муфтыобразца B18;
 д – диаграмма для муфтыобразца B20; е – диаграмма для муфтыобразца B25

Первый этап показал разрушение соединения образцов группы «В» по арматуре. На начальной стадии нагружения был виден резкий рост деформаций, хотя закрепление образца было аналогично серии «Д». Это объясняется тем, что деформирование самих арматурных стержней вне муфты сведено к минимуму, и поэтому эту начальную деформацию можно отнести к податливости арматуры в стыке. Дальнейшее нагружение образцов в целом повторяло деформирование образцов серии «Д». После разрыва арматурного стержня

остаточная деформация муфты составляла 0,2 % у Ø 25 мм, 0,44 % у Ø 20 мм и 1,7 % у Ø 18 мм, что объясняется тем, что соотношение площадей у меньших диаметров арматуры и у соответствующих муфт ближе, чем у больших, в частности: площадь соответствующей муфты больше площади стержня Ø 18 мм на 66,6 %, стержня Ø 20 мм на 166,9 % и стержня Ø 25 мм на 141,4 %. Второй этап испытаний образцов позволил выявить прочность материала муфты, которая оказалась равна 490...510 МПа. Диаграммы σ - ϵ для образцов группы «В» представлены на рис. 3, в...е.

Образцы серии «А» были необходимы, чтобы уточнить значения характеристик, полученных в эксперименте с образцами группы «В», а именно: среднее удлинение муфты на участках, где она имеет сцепление с арматурой. Разрушение образцов в данном эксперименте носило следующий характер: первоначально шейка образцовывалась на муфте, после чего происходил разрыв по муфте, затем наблюдалось скачкообразное падение усилия и далее растягивалась, и разрывалась арматура. Диаграммы σ - ϵ для образцов группы «А» представлены на рис. 4, а и б.

Образцы группы «І» были нужны для того, чтобы установить деформации стыка в условиях полного отсутствия проскальзывания (податливости) арматуры в муфте. Диаграммы растяжения образцов группы «І» представлены на рис. 4, в...е.

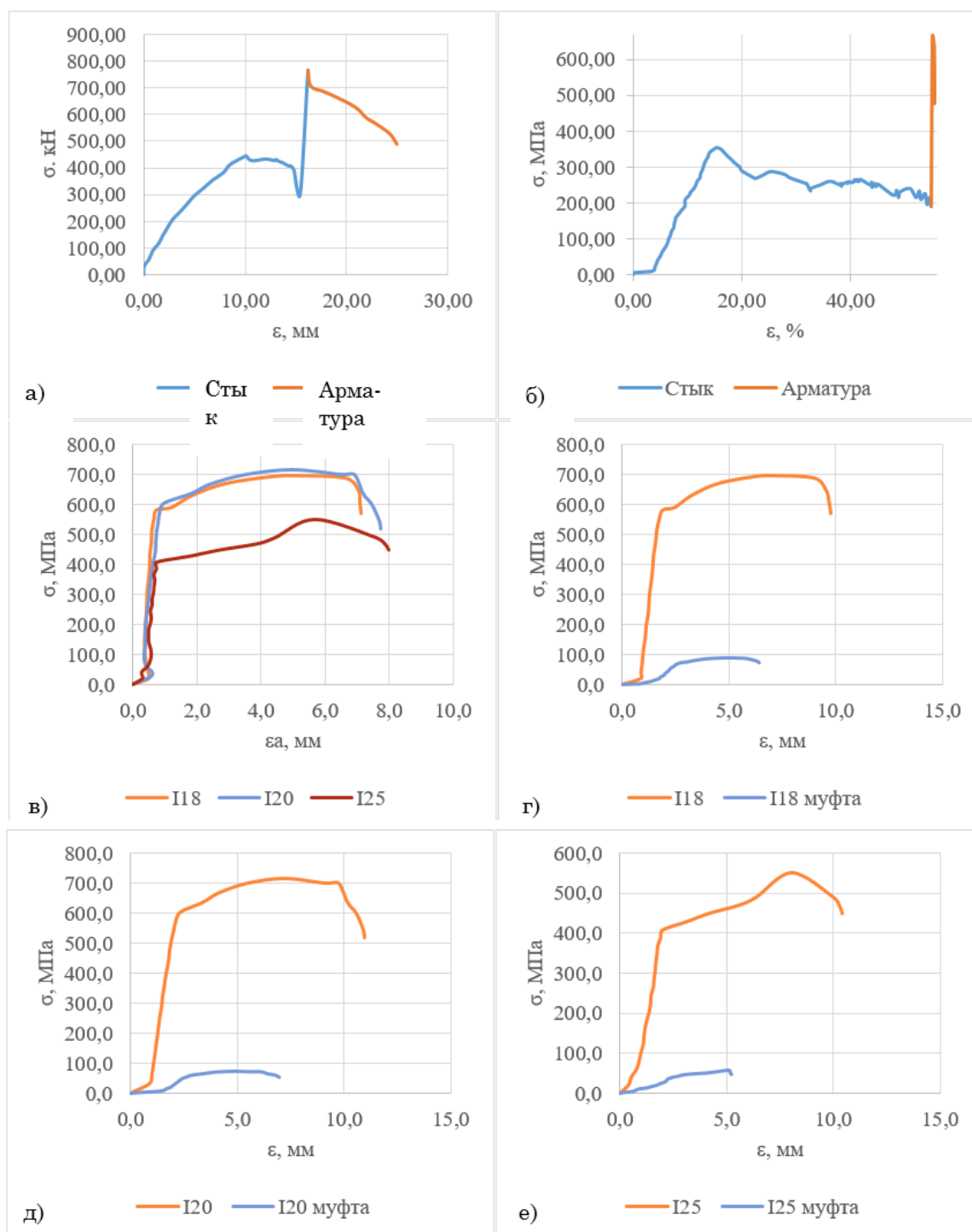
По результатам проведённых экспериментов были сформулированы следующие основные выводы:

- ✓ опрессованные муфтовые соединения позволяют получить стык, превышающий по прочности при растяжении прочность основного стержня на величину от 10 % до 60 %;
- ✓ деформативность материала муфты в диапазоне усилий, соответствующих напряжениям, не превышающим нормативное сопротивление арматуры значительно ниже деформаций самой арматуры – в среднем в 2...3 раза в зависимости от диаметра;
- ✓ деформативность стыкового соединения не превышает соответствующих деформаций аналогичных цельных арматурных стержней и поэтому не должна отрицательно влиять на трещиностойкость и жесткость железобетонных элементов.

Заключение.

В сравнении с наиболее распространёнными ныне стыками арматуры нахлёстом, весьма перспективным выглядит использование механических соединений арматуры, которые могут оказаться более эффективными по стоимости, позволяют снизить расход арматурной стали, что особенно сильно проявляется при использовании больших диаметров стержней, повысить скорость выполнения арматурных работ.

Результаты испытаний показали, что использование соединений арматуры обжимными муфтами позволяет получить стык, прочность которого превышает прочность стыкуемых арматурных стержней, а деформативность всего соединения, включающая податливость (проскальзывание) арматуры в стыке, не превышает аналогичных деформаций цельных арматурных стержней.

Рис. 4 – Диаграммы σ – ϵ образцов:

а – диаграммы для образцов группы «А» Ø 18 мм; б – диаграммы для образцов группы «А» Ø 20 мм;
 в – диаграммы образцов группы «I»; г – соотношение напряжений в соединении и муфте
 для образца группы «I» Ø 18 мм; д – то же, для Ø 20 мм; е – тоже, для Ø 25 мм

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Дьячков, В. В.** Свойства и особенности применения в железобетонных конструкциях резьбовых и опрессованных механических соединений арматуры: автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.23.01 / В. В. Дьячков ; НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. – Москва, 2009. – 22 с.

2. **Swami, P. S.** Use of mechanical splices for reinforcing steel / P. S. Swami, S. B. Javheri, D. L. Mittapalli, P. N. Kore // Innovative trends in engineering & technology-2016: collection of articles of National conference. – Guwahati, 2016. – Pp. 1-5.
3. **Singh, R.** Reinforcement couplers as an alternative to lap splices: a case study / R. Singh, S. K. Himanshu, N. Bhalla // International Journal of Engineering Research & Technology. – 2013. – Vol. 2. – № 2. – Pp. 1-6.
4. **Sajjad, M.** Fabrication of one-touch rebar coupler for mechanical connections / M. Sajjad, A. J. Jithin, D.-W. Jung // Journal of the Korean Society for Power System Engineering. – 2019. – Vol. 23. – № 1. – Pp. 84-88.
5. **Patil, S. A.** Fracture characterization of threaded rebar and coupler / S. A. Patil, B.S. Walunj, N.S. Gandhi // Advanced engineering and technology for sustainable development: collection of articles of 2nd International conference. – Coimbatore. – 2016. – Pp. 151-154.
6. **Карпенко, С. Н.** Усовершенствование перехода от диаграмм деформирования арматуры к диаграммам деформирования механических соединений арматуры / С. Н. Карпенко, И. Г. Чепизубов // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 3. – С. 18-22.
7. **Neeladharan, C.** Behaviour of mechanical coupler in reinforcement / C. Neeladharan, R. M. Thouseefur, A. Shajahan, J. S. Himayun, S. K. Jibrin // International Journal of innovative research in science, engineering and technology. – 2017. – Vol. 6. – № 4. – Pp. 6774-6781.
8. **Карпенко, С. Н.** О результатах проверки прочности муфтовых соединений на резьбе по диаграммной методике / С. Н. Карпенко, И. Г. Чепизубов, К. С. Шифрин // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 11. – С. 44-46.
9. **McCabe, S. L.** Mechanical coupler testing report/ Steven L. McCabe. – Kansas: Publishing house of University of Kansas, 1994. – 84 p.
10. **Мадатян, С. А.** Новая горячекатаная свариваемая арматура класса А500С / С. А. Мадатян, В. В. Дегтярев, Л. А. Зборовский, А. А. Каменских, А. Е. Демидов, Р. З. Разутдинов // Бетон и железобетон. – 2001. – № 1. – С. 12-14.

Поступила в редакцию 28 октября 2019

AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE STRENGTH, DUCTILITY AND DEFORMABILITY OF REINFORCEMENT JOINTS PERFORMED WITH PRESSED COUPLERS

T. R. Barkaya, A. V. Gavrilenko, S. A. Sokolov, R. Z. Tsybina

Barkaya Temur Raufovich, Cand. tech. Sciences, associate Professor, head of the Department of Structures and Facilities, Tver State Technical University, Tver, Russian Federation, phone: +7(4822)78-83-31; e-mail: btrs@list.ru
Gavrilenko Alexey Vladimirovich, assistant of the Department of Structures and Facilities, Tver State Technical University, Tver, Russian Federation, phone: +7(4822)78-83-31; e-mail: gawaw@mail.ru
Sokolov Sergey Alexandrovich, Cand. tech. Sciences, associate Professor, Department of Structures and Facilities, Tver State Technical University, Tver, Russian Federation, phone: +7(4822)78-83-31; e-mail: gek.tver@mail.ru
Tsybina Raisa Zakharovna, associate Professor, Department of Structures and Facilities, Tver State Technical University, Tver, Russian Federation, phone: +7(4822)78-83-31; e-mail: zubina-rz@mail.ru

This paper contains information about an experimental study of main physical and mechanical characteristics of reinforcement joints performed with cold pressing threadless reinforcing bar couplers (pressed couplers). Reinforcement bar with strength class A500C and diameters 18, 20 and 25 mm was reviewed. Strength, ductility and deformability of joints were investigated. There were different setting conditions of couplers to reinforcement bar. Results has shown, that use of pressed couplers for reinforcement gives opportunity to reach joints strength equal to strength of reinforcement bar under static loads. Deformability of pressed joint does not exceed deformability of relevant solid rebar.

Keywords: reinforcement; reinforcing bar coupler; mechanical connection; cold pressed joint; tensile test.

REFERENCES

1. **Diachkov V. V.** *Properties and features of use of threaded and pressed connections for rebar in reinforcement concrete structures*. Moscow, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev. 2009. 22 p. (in Russian)
2. **Swami P. S., Javheri S. B., Mittapalli D. L., Kore P. N.** *Use of mechanical splices for reinforcing steel*. Guwahati, Innovative trends in engineering & technology-2016: collection of articles of National conference. 2016. Pp. 1-5.
3. **Singh R., Himanshu S. K., Bhalla N.** *Reinforcement couplers as an alternative to lap splices: a case study*. International Journal of Engineering Research & Technology. 2013. Vol. 2. No. 2. Pp. 1-6.
4. **Sajjad M., Jithin A. J., Jung D.-W.** *Fabrication of one-touch rebar coupler for mechanical connections*. Journal of the Korean Society for Power System Engineering. 2019. Vol. 23. No. 1. Pp. 84-88.
5. **Patil S. A., Walunj B. S., Gandhi N. S.** *Fracture characterization of threaded rebar and coupler*. Advanced engineering and technology for sustainable development: collection of articles of 2nd International conference. Coimbatore. 2016. Pp. 151-154.
6. **Karpenko S. N., Chepizubov I. G.** *Improving of transition from reinforcement deformation diagrams to deformation diagrams of mechanical reinforcement joints*. Construction and Reconstruction. 2016. No. 3. Pp. 18-22. (in Russian)
7. **Neeladharan C., Thouseefur R. M., Shajahan A., Himayun J. S., Jibrans K.** *Behaviour of mechanical coupler in reinforcement*. International Journal of innovative research in science, engineering and technology. 2017. Vol. 6. No. 4. Pp. 6774-6781.
8. **Karpenko S. N., Chepizubov I. G., Shifrin K. S.** *About check results of threaded rebar connections strength using a diagram method*. Industrial and civil engineering. 2008. No. 11. Pp. 44-46. (in Russian)
9. **McCabe S. L.** *Mechanical coupler testing report*. Kansas, Publishing house of University of Kansas. 1994. 84 p.
10. **Madatian S. A., Degtiarev V. V., Zborovski L. A., Kamenskih A. A., Demidov A. E., Razutdinov R. Z.** *New hot-rolled weldable reinforcement with class A500C*. Concrete and Reinforced Concrete. 2001. No. 1. Pp. 12-14. (in Russian)

Received 28 October 2019

Для цитирования:

Баркая, Т. Р. Экспериментальное исследование прочности, податливости и деформативности опрессованных стыков арматуры / Т. Р. Баркая, А. В. Гавриленко, С. А. Соколов, Р. З. Цыбина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 36-44.

FOR CITATION:

Barkaya T. R., Gavrilenko A. V., Sokolov S. A., Tsybina R. Z. *An experimental study of the strength, ductility and deformability of reinforcement joints performed with pressed couplers*. Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 4(11). Pp. 36-44. (in Russian)

УДК 624.131.541.3

УЧЕТ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА ПРИ ОСАДКЕ СВАЙ В ПРОБИТЫХ СКВАЖИНАХ С УШИРЕНИЕМ

М. В. Глухова, В. С. Глухов

Глухова Мария Вячеславовна, ст. преподаватель кафедры геотехники и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Российская Федерация, тел.: +7(996)803-10-30; e-mail: glukhova.mary@mail.ru

Глухов Вячеслав Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой геотехники и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Российская Федерация, тел.: +7(8412)49-72-77; e-mail: gds@pguas.ru

Сваи в пробитых скважинах с уширением, выполняемые по технологии фундаментов в вытрамбованных котлованах, можно считать перспективным вариантом свайных фундаментов. Особенностью СПС считается высокая несущая способность по сравнению с традиционными забивными сваями. По результатам многолетних наблюдений отмечается, что расчетные осадки часто значительно выше фактических. Это связано с существенной разницей между расчетным сопротивлением уплотненного грунта и давлением под уширением. Наряду с указанным, одной из определяющих причин следует считать нелинейный характер зависимости осадки от давления грунта под уширением, что не учитывается при проектировании. В статье выполнена проверка по отношению к предельному сопротивлению уплотненного грунта, а также рассмотрен пример расчета осадки с учетом нелинейности по методу М. В. Малышева. Предложена расчетная схема фундамента для расчета осадки, в которой стадия деформации грунта, развивающаяся по нелинейной зависимости, находится в пределах общей сжимаемой толщи грунта. Сформирован вывод о необходимости расчета по второй группе предельных состояний свай в пробитых скважинах с уширением с учетом нелинейности в виду значительных давлений под уширением. Нелинейную зависимость деформаций грунта от напряжений следует учитывать в границах развития зон предельного равновесия.

Ключевые слова: сваи в пробитых скважинах; фундамент в вытрамбованных котлованах; свая с уширением; коэффициент нелинейности; осадка.

В настоящее время накоплен определенный опыт применения фундаментов на сваях в пробитых скважинах с уширением (СПС) [1]. При устройстве последних используется технология вытрамбовывания котлованов. С участием авторов данной статьи запроектированы и построены ряд объектов в различных грунтовых условиях с использованием СПС с нагрузками для 3000,0 кН [2]. За некоторыми объектами осуществляется мониторинг на этапе устройства фундаментов и эксплуатации объектов.

Впервые накопленный опыт по проектированию, технологии устройства и применению СПС обобщен в практическом пособии к СТО 36554501-018-2009 (ОАО «НИЦ «Строительство», Москва, 2010). В указанном пособии авторы достаточно детально изложили этапы проектирования и указания по производству работ, включая технологический контроль за надежностью свай на этапе завершения устройства последних. При этом в основу оценки несущей способности свай положен традиционный подход, учитывающий табличные значения сопротивления грунта под уширением свай и вдоль боковой поверхности. В основе расчета осадки свай с уширением принята расчетная схема грунтового основания в виде линейно-деформируемого полупространства [3].

Авторы настоящей работы, располагая результатами данных по мониторингу объектов, считают возможным сделать вывод о достаточно частом превышении расчетных значений осадки по сравнению с фактически наблюдаемыми деформациями основания. [4].

Одной из определяющих причин следует считать нелинейный характер зависимости осадки от давления под уширением $S = f(P)$, что не учитывается при проектировании [5]. Поэтому весьма актуальной задачей является совершенствование метода расчета осадки СПС.

Рассмотрим пример устройства СПС в пылевато-глинистом грунте с показателем текучести $I_L = 0,4$, объемной массой $\gamma_{II} = 17,0$ кН/м³, углом внутреннего трения $\varphi_{II} = 16^\circ$ и удельным сцеплением $C_{II} = 20,0$ кПа, модулем деформации $E_{II} = 10,0$ МПа. Глубина заложения уширения от отметки природного рельефа $h = 5,0$ м. Из табл. 7.2 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85» расчетное сопротивление уплотненного грунта под уширением сваи $R = 2000$ кПа. При проектировании фундаментов шаг свай или их количество принимается из условия, что нагрузка на сваю не должна превышать:

$$N \leq \frac{F_d}{\gamma_k} = N_{рд}, \quad (1)$$

где N – расчетная нагрузка на сваю с соответствующими коэффициентами перегрузки; F_d – несущая способность сваи; γ_k – коэффициент запаса, равный 1,4; $N_{рд}$ – расчетно-допускаемая нагрузка на сваю.

При расчете фундаментов по второй группе предельного состояния в случае использования традиционной схемы основания в виде линейно-деформированного основания должно выполняться условие:

$$P = \frac{N_{II} + Q_{\Phi}}{A_y} \leq R_y, \quad (2)$$

где P – давление под подошвой уширения; N_{II} – расчетная нагрузка на фундамент с коэффициентами перегрузки, равными единице; Q_{Φ} – вес фундамента (ростверка и сваи); R_y – расчетное сопротивление уплотненного грунта под подошвой уширения, определяемое с учетом изменения характеристик последнего при уплотнении.

С некоторыми допущениями принимаем следующие значения расчетных характеристик уплотненного основания: $\varphi_{IIy} = 18^\circ$; $C_{IIy} = 20,0$ кПа; $\gamma_{IIy} = 20,0$ кН/м³; $\gamma'_{II} = 16,0$ кН/м³; $E_y = 20,0$ МПа; $I_L = 0,4$; $\gamma_{c1} = \gamma_{c2} = 1,4$.

Определяем расчетное сопротивление грунта по известной формуле СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*»:

$$R_y = \frac{1,4 \cdot 1,4}{1,1} (0,43 \cdot 1,0 \cdot 20,0 \cdot 1,0 + 2,73 \cdot 5,0 \cdot 16,0 + 5,31 \cdot 20,0) = 590 \text{ кПа}.$$

Для упрощения учитываем несущую способность основания только под площадью подошвы уширения $A_y = 0,8$ м². Тогда расчетно-допускаемая нагрузка на сваю составит:

$$N_{рд} = \frac{A_y R}{\gamma_k}, \quad (3)$$

$$N_{рд} = \frac{0,8 \cdot 2000}{1,4} = 1140 \text{ кН}.$$

При расчете осадки учитывается нагрузка:

$$N_{II} = \frac{1140}{1,15} = 990 \text{ кН}.$$

Давление под подошвой уширения, которое следует учитывать при расчете сваи по второй группе предельных состояний, составит:

$$P = \frac{990}{0,8} = 1235 \text{ кПа}.$$

Указанное давление в 2,0 раза превышает расчетное сопротивление уплотненного грунтового основания под уширением $R_y = 590$ кПа. При указанной степени превышения необходимо выполнить проверку по отношению к предельному сопротивлению уплотненного грунтового основания. Последнее определяем по известной формуле СП 22.13330.2016:

$$P_u = (2,31 \cdot 0,75 \cdot 1,0 \cdot 19,0 + 5,48 \cdot 2,5 \cdot 5,0 \cdot 17,0 + 13,40 \cdot 1,3 \cdot 20,0) = 1550 \text{ кПа}.$$

Расчетно-допускаемое давление определяем по формуле:

$$P_{рд} = \frac{\gamma_c P_u}{\gamma_n}, \quad (4)$$

$$P_{рд} = \frac{0,9 \cdot 1550}{1,15} = 1210 \text{ кПа}$$

Указанное допускаемое давление на основание несколько ниже расчетного давления $P = 1235$ кПа, тогда принимаем допускаемую нагрузку на сваю:

$$N_{рд} = P_{рд} A_y, \quad (5)$$

$$N_{рд} = 1210 \cdot 0,8 = 970 \text{ кН}.$$

Таким образом, грунтовое основание под уширением сваи работает в следующих граничных условиях:

$$R_y \ll P = P_{рд}. \quad (6)$$

В этом случае расчет осадки необходимо определять с учетом нелинейности в соответствии с рекомендациями вышеуказанного пособия, которое базируется на решениях М. В. Малышева [6, 7], по формуле:

$$S_1 = S_R K_n. \quad (7)$$

где S_1 – общая осадка сваи; S_R – осадка сваи от нагрузки при давлении $P = R_y$; K_n – коэффициент нелинейности, определяемый по формуле:

$$K_n = 1 + \frac{(P_u - R)(P - R)}{(R - \sigma_{zg,0})(P_u - P)}. \quad (8)$$

В формуле (7) учитывается осадка S_R в пределах всей активной зоны сжатия основания под нагрузкой, тогда как нелинейность обусловлена зонами предельного равновесия грунта.

Принято считать, что при давлении под подошвой фундамента $P = R$ зоны предельного равновесия развиваются ниже подошвы фундамента на глубину $z = 1/4b$, где b – ширина подошвы фундамента, а в нашем случае диаметр уширения D_y [8].

При определении осадки с учетом нелинейности давление под подошвой фундамента превышает расчетное сопротивление и ограничивается из условия расчета предельного сопротивления грунта по формуле (4). Целесообразно допустить, что в граничном случае при давлении $P \leq P_{рд}$ зоны предельного равновесия развиваются до глубины $z = 3/4b$ (рис. 1, 2), а в запас прочности при расчете осадки до $z = b = D_y$ [9].

Учитывая вышеуказанное, общую осадку с учетом нелинейности рекомендуется определять по формуле, исходя из расчетной схемы (рис. 1):

$$S_2 = S_a + S_z K_n, \quad (9)$$

где S_z – осадка сваи от нагрузки в диапазоне давлений $P = R$ и пределах зоны сжатия $h_z = 0,5D_y$; S_a – то же в пределах активной зоны сжатия h_a ; K_n – коэффициент нелинейности согласно формуле (7) [10].

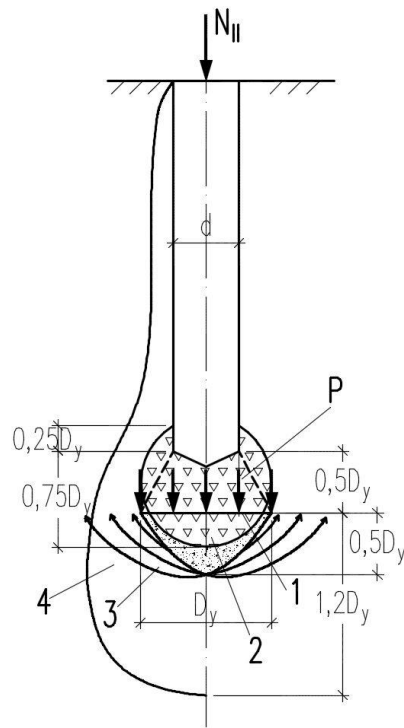


Рис. 1 – Схема предельного состояния основания:
 1 – расчетная подошва фундамента; 2 – упругое ядро; 3 – линии скольжения;
 4 – граница зоны уплотнения

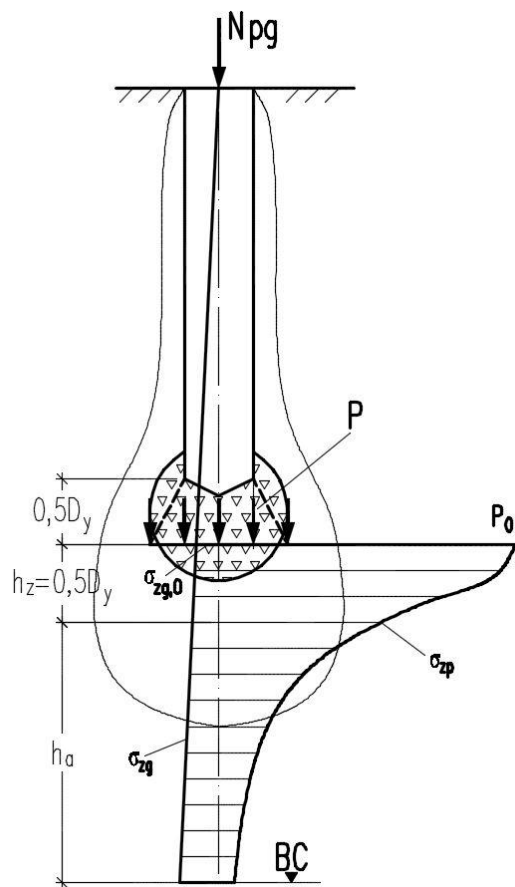


Рис. 2 – Расчетная схема осадки фундамента

Результаты поверочных расчетов с различным давлением под подошвой фундамента приведены в таблице. Из таблицы следует, что осадка фундамента с давлением под подошвой уширения в пределах расчетного сопротивления уплотненного грунта $P = R_y = 590$ кПа, найденного по формуле для фундамента мелкого заложения, составляет $S = 2,1$ см. При этом осадка фундамента от давления $P = 1235$ кПа, которое следует учитывать при расчете по второй группе предельных состояний свай с расчетным сопротивлением под уширением $R = 2000$ кПа (по таблице СП для свай), составляет $S = 5,4$ см и отличается от первого значения в 2,6 раза. Однако, указанное давление $P = 1235$ кПа значительно превышает $R_y = 590$ кПа и требует переход к расчетной схеме осадки с учетом нелинейности по предложенному авторами методу. При этом осадка возрастает в 4,5 раза ($S_2 = 24,1$ см), а по методу М. В. Малышева – в 9,0 раз ($S_1 = 49,0$ см), что недопустимо.

Осадка с учетом нелинейности при различном давлении под подошвой фундамента

Давление под подошвой фундамента P , кПа	Ед. изм.	1235	1210	1020	860	590 = R
Расчетно-допускаемая нагрузка на сваю $N_{рд}$, кН	кН	990	970	815	690	470
Осадка, рассчитываемая в линейной постановке задачи S_R , см	см	5,4	5,3	4,3	3,5	2,1
Коэффициент нелинейности K_n	-	9,08	9,08	4,94	3,22	-
Осадка, рассчитываемая в нелинейной постановке по формуле (7) S_1 , см	см	49	47,8	21,2	11,1	-
Осадка, рассчитываемая в нелинейной постановке по формуле (9) S_2 , см	см	24,1	23,5	11,7	6,9	-

С целью снижения значения указанной осадки S_1 до выполнения условия $S \leq S_u$, расчет выполнен с уменьшенным давлением под подошвой уширения $P = 860$ кПа. В этом случае расчетная осадка с учетом нелинейности по методу М. В. Малышева составляет $S_1 = 11,1$ см, что находится в допустимых пределах. Тогда нагрузка на сваю – $N = 680$ кН, что в 1,4 раза ниже расчетно-допускаемой нагрузки $N_{II} = 990$ кН, найденной по результатам расчета свай по несущей способности.

Сравнивая расчет осадки с учетом нелинейности по методу М. В. Малышева и предлагаемому авторами новому методу можно увеличить нагрузку на сваю до $N = 810$ кН. При указанной нагрузке осадка составляет $S_2 = 11,7$ см, что меньше предельно-допустимой $S_u = 12,0$ см. Авторы отмечают, что такая нагрузка на сваю $N = 810$ кН меньше в 1,2 раза расчетно-допускаемой нагрузки $N_{II} = 990$ кН, определяемой по свайному СП. Авторы считают значение расчетной осадки более достоверным.

Заключение.

Особенностью свай в пробитых скважинах с уширением считается существенное превышение давления под уширением свай по сравнению с расчетным сопротивлением уплотненного грунта, определенным с учетом улучшенных прочностных характеристик по известной формуле СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*».

Расчет по второй группе предельных состояний свай в пробитых скважинах с уширением, в виду значительных давлений под подошвой уширения, следует выполнять с учетом нелинейности.

В расчетах нелинейную зависимость деформаций грунта следует учитывать в пределах развития зон предельного равновесия, ограниченных глубиной $z = 0,5D_y$, где D_y – диаметр уширения.

Изложенный авторами метод оценки деформаций грунтового основания сваи позволяет более точно определять и прогнозировать осадки рассматриваемых фундаментов, выполненных в виде свай с уширением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Крутов, В. И.** Свайные фундаменты из набивных свай в пробитых скважинах / В. И. Крутов, В. К. Когай, В. С. Глухов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2010. – № 2. – С. 10-14.
2. **Глухова, М. В.** Пути оптимизации осадки свай в пробитых скважинах с уширением с учетом взаимовлияния / М. В. Глухова, В. С. Глухов // IV Международная научно-практическая молодежная конференция по геотехнике: сборник материалов. – Тюмень, 2018. – С. 22-26.
3. **Глухов, В. С.** Исследование влияния уширения свай в пробитых скважинах на осадку / В. С. Глухов, О. В. Хрянина, М. В. Глухова // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5-2(38). – С. 351-354.
4. **Глухов, В. С.** Расчет осадки свай в пробитых скважинах с учетом нелинейности / В. С. Глухов, Ю. В. Грачева, Ю. С. Галова // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011 – № 5-2(38). – С. 367-370.
5. **Лушников, В. В.** Анализ расчетов осадок в нелинейной стадии работы грунта / В. В. Лушников, А. С. Ярдяков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 2. – С. 44-55.
6. **Малышев, М. В.** Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений / М. В. Малышев. – Москва: Стройиздат, 1994. – 228 с.
7. **Pilyagin, A. V.** Deformation-based bed design using linear and nonlinear methods / A. V. Pilyagin // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 1996. – Vol. 33. – No. 1. – Pp. 12-15.
8. **Kirillov, V. M.** Approximate accounting of zones of plastic deformation in the bed of a rigid plate / V. M. Kirillov // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 1992 – Vol. 29. – No. 4. – Pp. 95-100.
9. **Glukhov, V. S.** Efficient use of sand cushions / V. S. Glukhov, M. V. Glukhova // Proceedings in Earth and Geosciences. Geotechnics fundamentals and applications in construction. – 2019. – Vol. 2. – Pp. 74-76.
10. **Калугин, П. И.** К учету нелинейности деформированности грунтов при расчете осадок оснований фундаментов / П. И. Калугин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии». – 2010 – № 1. – С. 60-64.

Поступила в редакцию 25 октября 2019

CONSIDERING THE NON-LINEAR SOIL DEFORMATION IN THE SETTLEMENT OF PILE IN PUNCHED HOLES WITH BROADENING

M. V. Glukhova, V. S. Glukhov

Glukhova Mariya Vyacheslavovna, senior teacher, Department of geotechnics and road construction, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation, phone: +7(996)803-10-30; e-mail: glukhova.mary@mail.ru

Glukhov Vyacheslav Sergeevich, Cand. tech. sciences, associate Professor, Head of the Department of geotechnics and road construction, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation, phone: +7(8412)49-72-77; e-mail: gds@pguas.ru

Piles in the punched holes with broadening (PPH), executed on technology of foundation in the rammed pits, it is possible to consider as perspective option of the piles. A feature of the PPH is considered to be a high pile bearing capacity compared to traditional driven piles. According to the results of long-term monitoring, there is an excess of calculated base settlement compared to the actual ones. This is due to the significant difference between the estimated soil resistance of compacted zone and the pressure under broadening. And one of the determining reasons should be considered a nonlinear nature of the dependence of base settlement from soil pressure under the pile broadening, which is not taken in the designing. In the article is the check the limit resistance of the compacted soil zone, and the settlement calculation into account nonlinearity by the method of M. V. Malyshev is considered. The foundation settlement calculation scheme are designed, in which the nonlinear soil deformation stage is within the total soil compressible thickness is proposed. The conclusion about the need for the limiting soil states calculation of second group under the sole of piles in punched holes with broadening taking into account the nonlinearity. The nonlinear dependence of soil deformations from stresses should be taken into account within the growth borders of the limit equilibrium zones.

Keywords: piles in the punched holes; pile with broadening; foundation in the rammed pits; nonlinearity coefficient; base settlement.

REFERENCES

1. **Krutov V. I., Kogai V. K., Glukhov V. S.** *Foundations formed from piles cast in punched holes*. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2010. T. 47. No. 2. Pp. 45-51. (in Russian)
2. **Glukhova M. V., Glukhov V. S.** *Optimization ways of the piles in the punched holes with broadening settlement taking into account mutual influence*. Tyumen, IV International scientific and practical youth conference on geotechnics: collection of materials. 2018. Pp. 22-26. (in Russian)
3. **Glukhov V. S., Hryanina O. V., Glukhova M. V.** *The study of the effect of widening of piles in punched holes on the settlement*. Proceedings of Southwestern State University. 2011. No. 5-2(38). Pp. 351-354. (in Russian)
4. **Glukhov V. S., Gracheva Y. V., Galova Y. S.** *Settlement computation of piles in punched holes considering nonlinearity*. Proceedings of Southwestern State University. 2011. No. 5-2(38). Pp. 367-370. (in Russian)
5. **Lushnikov V. V., Jardakov A. S.** *The analysis of calculations sediment in the nonlinear stage of the soil*. Bulletin of Perm national research Polytechnic University. Construction and Architecture. 2014. No. 2. Pp. 44-55. (in Russian)
6. **Malyshev M. V.** *Strenght of soils and bed stability of structures*. Moscow, Stroizdat. 1994. 228 p. (in Russian)
7. **Pilyagin A. V.** *Deformation-based bed design using linear and nonlinear methods* Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1996. Vol. 33. No. 1. Pp. 12-15.
8. **Kirillov V. M.** *Approximate accounting of zones of plastic deformation in the bed of a rigid plate*. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1992. Vol. 29. No. 4. Pp. 95-100.
9. **Glukhov V. S., Glukhova M. V.** *Efficient use of sand cushions*. Proceedings in Earth and Geosciences. Geotechnics fundamentals and applications in construction. 2019. Vol. 2. Pp. 74-76.

10. **Kalugin P. I.** *Accounting nonlinear deformation of soils in the calculation of foundation settlement.* Scientific Bulletin of Voronezh state University of architecture and construction. Materials of interregional scientific-practical conference «High technologies in ecology». 2010. No. 1. Pp. 60-64. (in Russian)

Received 25 October 2019

Для цитирования:

Глухова, М. В. Учет нелинейной деформации грунта при осадке свай в пробитых скважинах с уширением / М. В. Глухова, В. С. Глухов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 45-52.

FOR CITATION:

Glukhova M. V., Glukhov V. S. *Considering the non-linear soil deformation in the settlement of pile in punched holes with broadening.* Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 4(11). Pp. 45-52. (in Russian)

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

ENGINEERING SYSTEMS AND COMMUNICATIONS

УДК 621.644.073

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА БАЛЛАСТИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДА В СЕЗОННОПРОМЕРЗАЮЩИХ ГРУНТАХ

И. А. Паршаков, С. А. Сазонова

Паршаков Игорь Александрович, магистрант кафедры строительного производства и геотехники, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Российская Федерация, тел.: +7(902)803-83-39; e-mail: igor-parshakov@mail.ru

Сазонова Светлана Александровна, старший преподаватель кафедры строительного производства и геотехники, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Российская Федерация, тел.: +7(342)2-198-374; e-mail: feliks150@yandex.ru

На территории РФ находится большое количество месторождений и их развитие невозможно без использования нефтепроводов разного назначения. Особое внимание уделяется данным вопросам при переходе нефтепроводов через обводненные, болотистые и подтопляемые территории в сезоннопромерзающих грунтах. Трубопроводы с положительной плавучестью на таких участках трасс подвержены всплытию, что влечет за собой изменение теплового режима транспортируемой нефти, повышение напряжённого состояния в стенках труб, а в некоторых случаях и их разрушение. Использование балластных приспособлений препятствует всплытию нефтепроводов, однако использование данных устройств влечет за собой значительное удорожание строительства. В связи с особой важностью балластировки и надежного закрепления нефтепроводов на проектных отметках, вопрос обоснования применения того или иного вида балластного устройства, при прокладке нефтепроводов на обводненных территориях, является актуальным. Целью исследований авторов является определение наиболее экономически выгодного варианта балластировки нефтепроводов в зависимости от технологических особенностей и инженерно-геологических условий строительства. Ранее авторами проведен анализ различных видов балластирующих устройств. В результате анализа выбраны пять наиболее часто встречающихся типов балластных устройств: железобетонные утяжелители УБК, обетонирование, полимерконтейнерные устройства (ПКУ), контейнеры текстильные (КТ), анкерные устройства ВАУ-1. В настоящей статье представлены аналитические расчеты количества балластирующих устройств пяти наиболее часто применяемых вариантов. Представлены выводы, полученные на основании расчетов. Результаты статьи могут быть использованы в качестве исходных данных для расчетов в программном комплексе ГРАНД-СМЕТА, с целью уточнения полученных результатов и определению наиболее экономически выгодного варианта балластировки.

Ключевые слова: балластировка; пригруз; обводненный участок; нефтепровод; всплытие.

При строительстве трубопроводов в сложных природно-климатических условиях Урала ведутся работы не только по прокладке трубопроводов и их изолированию, но и комплекс работ, обеспечивающих бесперебойный транспорт углеводородов [1]. К таким работам относятся мероприятия по закреплению нефтепроводов на проектных отметках. Трубопровод в течение срока его эксплуатации должен находиться в одном состоянии (по высотным отметкам), это положение трубопровода называется проектным, положение определяют с помощью существующих методов расчета на прочность и устойчивость [2...5]. Устойчивость трубопровода зависит от внешних воздействий на него окружающей среды.

Целью научного исследования авторов является выбор наиболее универсального и

дешевого вида балластного устройства при прокладке нефтепроводов в сезоннопромерзающих грунтах на обводненных территориях. Для достижения цели авторами ранее проведен анализ различных видов балластирующих устройств [6]. В результате анализа для проведения расчетов были выбраны пять наиболее часто встречающихся типов балластных устройств: железобетонные утяжелители УБК [7, 8], обетонирование, полимерконтейнерные устройства (ПКУ) [9], контейнеры текстильные (КТ), анкерные устройства ВАУ-1.

Для технико-экономического сравнения оптимальных вариантов конструкций нефтепроводов, составления рекомендаций по применению различных типов и конструкций траншей нефтепроводов в зависимости от инженерно-геологических условий площадки необходимо выполнить расчет требуемого числа балластирующих устройств и оценить стоимость производимых работ. В настоящей статье рассматриваются методы расчета балластных устройств, приводятся аналитические методы расчета с целью получения первичных результатов, на основании которых будет возможно сделать выводы об экономической целесообразности применения тех или иных видов устройств.

В качестве объекта исследований были выбраны участки нефтепровода на двух строительных площадках Пермского края (далее объект № 1 и объект № 2) с разными геологическими условиями и диаметрами трубопроводов. Физико-механические свойства грунтов выбранных объектов представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1
Физико-механические свойства грунтов строительной площадки объекта № 1

№ ИГЭ	Наименование ИГЭ	Мощность слоя, м	Плотность грунта г/см ³	Плотность частиц грунта, г/см ³	Плотность сухого грунта, г/см ³	Плотность в водонасыщенном состоянии	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град	Модуль деформации, МПа	Расчетное сопротивление, кПа
1	Торф сильноразложившийся водонасыщенный	3,0	1,02	1,65	0,2	1,07	14,4	0	0,24	-
2	Суглинок тяжелый пылеватый мягкопластичный с примесями органических веществ	1,9	1,9	2,66	1,21	1,23	21,1	10	11,31	-

Таблица 2
Физико-механические свойства грунтов строительной площадки объекта № 2

№ ИГЭ	Наименование ИГЭ	Мощность слоя, м	Плотность грунта г/см ³	Плотность частиц грунта, г/см ³	Плотность сухого грунта, г/см ³	Плотность в водонасыщенном состоянии	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град	Модуль деформации, МПа	Расчетное сопротивление, кПа
1	Торф бурый среднеразложившийся маловлажный	0,9	0,7	1,66	0,22	1,12	-	-	-	-
2	Супесь серовато-коричневая песчанистая текучая	2,4	2,01	2,71	1,64	1,02	-	-	-	-
3	Песок серый пылеватый средней плотности, насыщенный водой, неоднородный	1,7	1,96	2,68	1,66	1,02	7,0	40	18,0	-

Трассы нефтепроводов территориально проходят в Пермском крае. Диаметры рассчитываемых нефтепроводов заданы в проекте технологами, исходя из требуемой пропускной способности. Объект № 1 предусматривает строительство нефтепровода диаметром 273 мм, а объект № 2 – диаметром 530 мм. В разных проектах – разные инженерные условия и для того, чтобы определить зависимость между выталкивающей силой воды и грунтовыми условиями, с целью составления рекомендаций по проектированию того или иного вида пригруза, требуется выполнить расчет на всплытие, в разных геологических условиях. Схематическое отражение последовательности проведения расчета представлено на рис. 1.

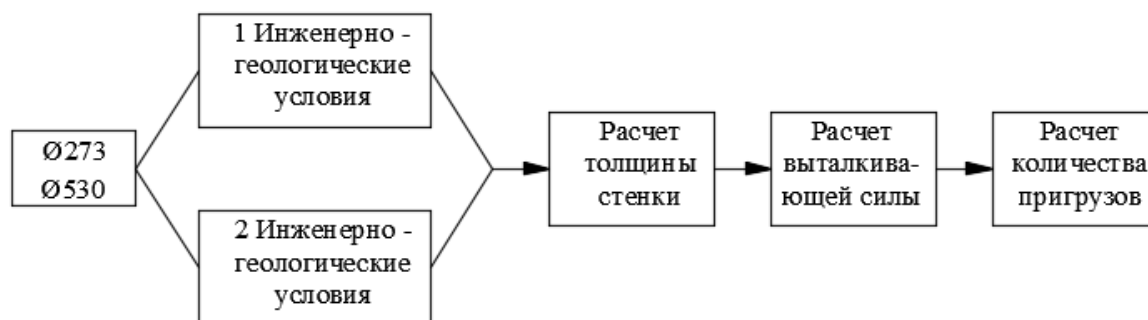


Рис. 1 – Последовательность проведения расчетов

Расчеты выполнены в соответствии с СП 284.1325800.2016 «Трубопроводы промышленные для нефти и газа. Правила проектирования и производства работ», ВСН 39-1.9-003-98, а также согласно методике, изложенной в [1]. Первоначально для обоих случаев был выполнен расчет толщины стенки по формуле (1) СП 284.1325800.2016 «Трубопроводы промышленные для нефти и газа. Правила проектирования и производства работ», п. 13.2:

$$t = \frac{\gamma_f \cdot \eta \cdot k_{отв} \cdot p_n \cdot d_e}{2(R + 0,6\gamma_f \cdot p_n)}, \quad (1)$$

где t – расчетная толщина стенки, см; γ_f – коэффициент надежности по нагрузке, принимается по табл. 6 СП 284.1325800.2016. Для временных длительных нагрузок, возникающих из-за внутреннего давления транспортируемой жидкой среды, $\gamma_f = 1,15$; η – коэффициент несущей способности, для труб $\eta = 1$; p_n – рабочее давление трубопровода $p_n = 5,0$ МПа при установившейся ситуации; d_e – наружный диаметр трубы; R – расчетное сопротивление трубы, МПа.

Следующим шагом был выполнен расчет нефтепровода против всплытия на обводненном участке. Расчет выполнен по формуле (30) СП 284.1325800.2016 и согласно методике, изложенной в книге [1]. Устойчивость положения (против всплытия) трубопроводов, прокладываемых на обводненных участках трассы, должна проверяться по условию (2):

$$q_v + q_{изг} \leq q_{бал\ v}^H / \gamma_a \quad (2)$$

где q_v – суммарная расчетная нагрузка на трубопровод, действующая вверх; $q_{изг}$ – расчетная нагрузка, обеспечивающая упругий изгиб трубопровода; $q_{бал\ v}^H$ – суммарная расчетная нагрузка, действующая вниз (включая собственный вес) (Н/м). Значение коэффициента надежности устойчивого положения γ_a должно определяться по табл. 16 СП 284.1325800.2016.

Расчетная выталкивающая сила, действующая на нефтепровод, зависит от удельного веса грунта ниже отметки уровня грунтовых вод и диаметра трубопровода с учетом изоляции. Помимо выталкивающей силы на трубопровод воздействует нагрузка, обеспечивающая упругий изгиб трубопровода, зависящая от угла изгиба трубопровода и от того, какая кривая образована (вогнутая, выпуклая). Для расчетов принималось, что угол изгиба равен нулю. Расчет велся для незаполненного нефтепровода, как для наихудшего варианта.

При расчете величины балластировки из суммарной расчётной нагрузки, действующей вверх, вычитается расчетная нагрузка, действующая вниз, которая включает в себя: собственный вес трубопровода, вес грунта засыпки, расположенного выше УГВ. При расчетах высота засыпки на объектах была одинаковой: расчет велся без учета засыпки (т.к. после проведения инженерно-геологических изысканий выяснилось, что во время паводков УГВ поднимается до самой поверхности).

После того, как была определена требуемая величина балластировки, был выполнен расчет пяти наиболее часто применяемых вариантов балластных устройств.

Расчет максимального расстояния между центрами одиночных железобетонных пригрузов типа УБК выполнен в соответствии с методическими указаниями [10].

Расчет количества утяжелителей типа КТ проводится для установки контейнеров в условиях полного обводнения траншеи в соответствии с ВСН 39-1.9-003-98, п. 4.5.6. Надёжности по нагрузке (грунту) принимается $n_{гр} = 1,2$; коэффициент надежности по назначению принимается $\gamma_n = 1,2$ в соответствии с п. 4.5.1 ВСН 39-1.9-003-98.

При расчете анкерных балластных устройств принимается анкер ВАУ-1, состоящий из двух анкеров. Расчетную несущую способность одного анкерного устройства B_d следует определять по формуле (3):

$$B_d = z m_a P_a, \quad (3)$$

Расчетная несущая способность анкера, P_a , определяется из условия (4):

$$P_a = \frac{F_d}{\gamma_k}, \quad (4)$$

где F_d – несущая способность анкера; γ_k – коэффициент надежности анкера; m_a – коэффициент условий работы анкерного устройства. Коэффициент надежности анкера принимается равным 1,40, если несущая способность анкера определена расчетом. Несущая способность анкера зависит от того, насколько глубоко заглубляется анкер от уровня дна траншеи (от 6 до 8 диаметров лопасти) и от несущей способности грунта основания.

При сплошном обетонировании рассчитывается толщина слоя бетона, необходимого для обеспечения устойчивого положения нефтепровода.

Результаты расчетов сведены в табл. 3...4.

Таблица 3

Результаты расчетов строительной площадки объекта № 1

Вид балластного устройства	Величина балластировки, $q_{бал,в}^H$, Н/м		Удерживающая способность утяжелителя в воздухе, $q_{эл}$, Н		Шаг установки L_r , м	
	Ø 273 × 8	Ø 530 × 8	Ø 273 × 8	Ø 530 × 8	Ø 273 × 8	Ø 530 × 8
УБК	225,912	1771,38	3400	8340	5,38	2,44
КТ			7000	18000	6,7	2,72
ПКУ			1582	5651	6,32	7,13
ВАУ-1			5568,3	21011	24,64	11,86
Обетонирование			-	-	0,01	0,08

Таблица 4

Результаты расчетов строительной площадки объекта № 2

Вид балластного устройства	Величина балластировки, $q_{бал,в}^H$, Н/м		Удерживающая способность утяжелителя в воздухе, $q_{эл}$, Н		Шаг установки, L_r , м	
	Ø 273 × 8	Ø 530 × 8	Ø 273 × 8	Ø 530 × 8	Ø 273 × 8	Ø 530 × 8
УБК	273,18	1901,95	3400	8340	4,09	2,18
КТ			7000	18000	4,63	2,21
ПКУ			1565	5589	5,08	6,47
ВАУ-1			9841	26579	36,02	13,98
Обетонирование			-	-	0,015	0,09

Результатом расчетов стало: нахождение значения выталкивающей силы, действующей на нефтепровод; определение требуемого количества того или иного вида балластных устройств. Для обоснования применения утяжелителей типа УБК и КТ требуется провести сравнительный расчет – шаг установки данных типов утяжелителей довольно мал. Применение обетонирования – наиболее надежный метод балластировки, однако повсеместно этот метод не используют из-за ряда причин, связанных с проблемой доставки таких труб и сложностью выполнения обетонирования труб на строительной площадке. Для подтверждения эффективности этого метода балластирования требуются дополнительные исследования. По предварительным оценкам наиболее рациональным видом балластного устройства являются утяжелители типа ПКУ. В дальнейшем авторами планируется провести исследования по усовершенствованию конструкции утяжелителей и проведение дополнительных расчетов по уточнению рациональности применения новой конструкции. Полученные результаты возможно использовать в качестве исходных данных для расчетов в программном комплексе ГРАНД-СМЕТА, с целью уточнения полученных результатов и определению экономически выгодного варианта балластировки.

Заключение.

В результате расчетов выявлено, что при принятых исходных данных наиболее рациональным видом балластного устройства являются утяжелители типа ПКУ. Основными достоинствами этого вида балластного устройства являются невысокая стоимость и простота монтажа при высоких показателях удерживающей способности.

Установлено, что в нормативных документах и методических указаниях при расчете утяжелителей типа КТ и УБК учитывается то, что на данные устройства воздействует выталкивающая сила воды. При расчете ПКУ выталкивающая сила, воздействующая на утяжелители, исключается, поскольку в расчете предусматривается случай полного обводнения траншеи и грунта в ПКУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Промысловые трубопроводы и оборудование** / Ф. М. Мустафин, А. И. Быков, А. Г. Гумеров. – М.: Изд-во «Недра», 2004. – 622 с.
2. **Митрохин, М. Ю.** К вопросу применения отечественных винтовых анкерных устройств для закрепления газопроводов / М. Ю. Митрохин, С. В. Романцов, А. М. Тютнев, Д. А. Кашинцев, И. И. Велиюлин, А. Д. Решетников, Н. П. Васильев // Территория нефтегаз. – 2012. – № 6. – С. 90-92.
3. **Шукаев, В. А.** Балластировка магистральных трубопроводов на болотах в районах Западной Сибири: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.13 / Шукаев Валерий Адрикович; Московский гос. ун-т. – Москва, 1984. – 134 с.
4. **Федорова, Ю. В.** Исследование способов балластировки трубопроводов / Ю. В. Федорова // Научно-практический журнал Аллея Науки. – 2017. – № 14. – С. 279-283.
5. **Кузнецова, Г. А.** Анализ перспективных методов прокладки магистральных газопроводов в болотистой местности / Г. А. Кузнецова, М. М. Островская // Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ. – 2017. – № 2(7). – С. 59-65.
6. **Паршаков, И. А.** Анализ методов закрепления нефтепроводов в грунте на обводненных участках / И. А. Паршаков // Современные технологии в строительстве. Теория и практика: сборник материалов XI Всероссийской молодежной конференции аспирантов, молодых ученых и студентов. – Пермь, 2019. – С. 26-32.
7. **Ведрин, А. А.** Трубопроводный транспорт нефти и газа через болота и заболоченные участки / А. А. Ведрин, Р. А. Камаев // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2009. – № 2. – С. 77-83.

8. **Луценко, А. С.** Закрепление магистральных трубопроводов на проектных отметках / А. С. Луценко, Е. С. Торопов // Нефтегазовый терминал сборник научных статей памяти профессора Н. А. Малюшина. – Тюмень. – 2015. – С. 147-152.

9. **Тарасенко, А. А.** Новый полимерный контейнерный утяжелитель магистрального трубопровода / А. А. Тарасенко, М. Н. Редутинский // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 7-2. – С. 298-303.

10. **Вишневская, Н. С.** Обеспечение устойчивого положения магистральных газонефтепроводов на проектных отметках. Методические указания / Н. С. Вишневская. – Ухта: Изд-во УГТУ, 2014. – 59 с.

Поступила в редакцию 7 сентября 2019

SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF THE PIPELINE BALLASTING METHOD IN SEASON-FREEZING SOILS

I. A. Parshakov, S. A. Sazonova

Parshakov Igor Aleksandrovich, graduate student, Civil Engineering Faculty, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation, phone: + 7(902)-803-83-39; e-mail: igor-parshakov@mail.ru
Sazonova Svetlana Aleksandrovna, senior teacher, Department of Building production and geotechnics, Civil Engineering Faculty, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation, phone: +7(342)2-198-374; e-mail: feliks150@yandex.ru

On the territory of the Russian Federation there are a large number of fields and their development is impossible without the use of oil pipelines for various purposes. Particular attention is paid to these issues when crossing pipelines through waterlogged, marshy and flooded areas in seasonally frozen soils. Pipelines with positive buoyancy in such sections of the routes are prone to surfacing, which entails a change in the thermal regime of the transported oil, an increase in the stress state in the pipe walls, and in some cases, their destruction. The use of ballast devices prevents the emergence of oil pipelines, however, the use of these devices entails a significant increase in the cost of construction. Due to the special importance of ballasting and reliable fixing of oil pipelines at design elevations, the issue of substantiating the use of a particular type of ballast device when laying oil pipelines in waterlogged areas is relevant. The aim of the authors' research is to determine the most cost-effective option for ballasting oil pipelines, depending on the technological features and engineering and geological conditions of construction. Previously, the authors analyzed various types of ballasting devices. As a result of the analysis, five of the most common types of ballast devices were selected: reinforced concrete weighting agents UBK, concrete coating, polymer container devices (PKU), textile containers (CT), anchor devices VAU-1. This article presents analytical calculations of the number of ballasting devices of the five most commonly used options. The conclusions obtained on the basis of calculations are presented. In the future, the results of this article are planned to be used as initial data for calculations in the GRAND-SMETA software package, in order to refine the results obtained and determine the most cost-effective option for ballasting.

Keywords: ballasting; cargo; flooded area; oil pipeline; ascent.

REFERENCES

1. **Mustafi F. M.** *Field pipelines and equipment*. Moscow, Nedra Publishing House. 2004. 622 p. (in Russian)
2. **Mitrokhin M. Yu., Romantsov S. V., Tyutnev A. M., Kashintsev D. A., Veliulin I. I., Reshetnikov A. D., Vasiliev N. P.** *On the issue of using domestic screw anchor devices for securing gas pipelines*. Territory oil and gas. 2012. No. 6. Pp. 90-92. (in Russian)

3. **Shukaev V. A.** *Ballasting of trunk pipelines in swamps in areas of Western Siberia.* Moscow, Moscow state. un-t. 1984. 134 p. (in Russian)
4. **Fedorova Yu. V.** *Study of pipeline ballasting methods.* Scientific and practical journal Alley of Science. 2017. No. 14. Pp. 279-283. (in Russian)
5. **Kuznetsova G.A., Ostrovskaya M. M.** *Analysis of promising methods for laying gas pipelines in a marshland.* Construction and operation of oil and gas pipelines, bases and storages. 2017. No. 2(7). Pp. 59-65. (in Russian)
6. **Parshakov I. A.** *Analysis of methods for fixing oil pipelines in soil in flooded areas.* Perm, Modern technologies in construction. Theory and practice: a collection of materials of the XI All-Russian Youth Conference of graduate students, young scientists and students. 2019. Pp. 26-32. (in Russian)
7. **Vedrin A. A., Kamaev R. A.** *Pipeline transport of oil and gas through swamps and wetlands.* Equipment and technologies for the oil and gas complex. 2009. No. 2. Pp. 77-83.
8. **Lutsenko A. S., Toropov E. S.** *Fixing of trunk pipelines at design elevations.* Oil and gas terminal collection of scientific articles in memory of Professor N. A. Malyushin. Tyumen, 2015. Pp. 147-152. (in Russian)
9. **Tarasenko A. A., Redutinsky M. N.** *New polymer container weighting of the main pipeline.* Fundamental research. 2015. No. 7-2. Pp. 298-303. (in Russian)
10. **Vishnevskaya N. S.** *Ensuring a stable position of gas and oil pipelines at design elevations. Methodical instructions.* Ukhta, Publishing House of the Ural State Technical University. 2014. 59 p. (in Russian)

Received 7 September 2019

Для цитирования:

Паршаков, И. А. Обоснование выбора метода балластирования трубопровода в сезоннопромерзающих грунтах / И. А. Паршаков, С. А. Сазонова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 53-59.

FOR CITATION:

Parshakov I. A., Sazonova S. A. *Substantiation of the choice of the pipeline ballasting method in season-freezing soils.* Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 4(11). Pp. 53-59. (in Russian)

УДК 628.87

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ КОМФОРТНОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЕЙ

Д. В. Лобанов, Е. С. Исаева, Е. А. Лобанова, А. В. Миляева

Лобанов Дмитрий Валерьевич, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-92; e-mail: LDV-36@mail.ru

Исаева Екатерина Сергеевна, магистрант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(952)-543-41-92; e-mail: ikskaterina2@mail.ru

Лобанова Елена Алексеевна, магистрант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(903)-651-33-43; e-mail: alena-lb85@mail.ru

Миляева Анастасия Владимировна, магистрант кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(951)-874-11-46; e-mail: n.milya@bk.ru

В статье рассматривается необходимость разработки систем на основе применения воздухоочистителей, способных улучшать экологическую обстановку в помещениях с пребыванием людей. Человек, находясь в помещении, выделяет разнообразные органические и неорганические вещества. В качестве индикатора качества воздушной среды принята концентрация углекислого газа (CO_2). Проблема здоровой воздушной среды в помещениях, требует комплексного решения. Авторами предложен один из вариантов решения данной проблемы, заключающийся в совместном применении вентиляционных систем, с подачей наружного воздуха в минимальном количестве, и мобильных высокоэффективных воздухоочистителей, способных адсорбировать газовые вредности. Исследования проводились в помещении, в котором человек занят умственным трудом с применением ПЭВМ. Измерения проводились в два этапа: первый – при бездействии систем обеспечения микроклимата, второй – при работе воздухоочистителя на основе активированного угля. По результатам экспериментов построены графики изменения концентрации углекислого газа, согласно которым ее величина при работе воздухоочистителя оказалась существенно ниже, чем в первом этапе исследования. Эффективность предлагаемой схемы вентиляции зависит от многих факторов: тип воздухоочистителя, характер и режим работы людей в помещении и т.д. Экспериментально обоснована возможность применения воздухоочистителей в помещениях с целью уменьшения расчетного воздухообмена.

Ключевые слова: качество воздуха; воздухоочиститель; концентрация углекислого газа; умственный труд.

Еще несколько лет назад в отечественных нормативных документах при проектировании вентиляции в помещениях с пребыванием людей углекислый газ (CO_2) учитывался только косвенно в удельных нормах воздухообмена. В иностранных стандартах его концентрация в воздухе помещений служит индикатором содержания других более вредных загрязняющих веществ и соответствующей интенсивности вентиляции. Высокие концентрации углекислого и других газов в наружном воздухе больших городов приводят к необходимости выбора: либо повышать воздухообмен, способствуя увеличению потребления энергоресурсов путем сжигания органического топлива с дополнительным загрязнением атмосферы (в том числе CO_2), либо производить очистку приточного воздуха от газов.

Согласно [1, 2] в составе выделений организма человека выявлено несколько сотен химических соединений, из которых более двухсот веществ – с поверхности кожи и свыше

ста – с выдыхаемым воздухом [3]. Одним из наиболее интересных веществ, с точки зрения изучения его влияния на самочувствие, здоровье и работоспособность людей, является углекислый газ.

Первым отечественным документом, который предложил рекомендации по нормированию предельно допустимой концентрации (ПДК) CO_2 в помещениях и наружном воздухе, стал стандарт АВОК «Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена». В ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений», уровень концентрации CO_2 в наружном воздухе не нормируется (информация о двуокиси углерода полностью отсутствует). В другом документе гигиенических норм ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны», отмечена максимально разовая ПДК диоксида углерода в воздухе рабочей зоны за смену, которая составляет 4704 ppm и имеет 4 класс опасности – малоопасные. В ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», ГОСТ Р ЕН 13779-2007 «Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования», качество воздуха в общественных зданиях и жилых помещениях классифицируется как высокое, среднее, приемлемое, низкое. Воздух разделен в помещениях с пребыванием людей на четыре категории качества (таблица).

Концентрация углекислого газа в зависимости от категории помещения

Категория помещения	Превышение уровня CO_2 в помещении над его содержанием в наружном воздухе, ppm	
	Типичный диапазон	Задаваемое значение
IDA 1	<400	350
IDA 2	400...600	500
IDA 3	600...1 000	800
IDA 4	≥ 1000	1 200

Углекислый газ содержится в небольших количествах в составе чистого атмосферного воздуха, его концентрация составляет примерно 0,03 % от объема (об.). В таких количествах углекислый газ необходим для жизнедеятельности человека. Очевидно, что содержание в воздухе CO_2 будет различным в сельской местности, небольших и крупных городах. Фоновые концентрации определяются выбросами автотранспорта, сжиганием топлива на предприятиях теплоэнергетики и работой промышленных предприятий.

Результаты эксперимента [4] по исследованию влияния концентрации углекислого газа показывают, что, если уровень углекислого газа в офисном помещении ниже 800 ppm (0,08 % об.), то это обеспечивает нормальное самочувствие и работоспособность людей.

В качестве одной из мер, предназначенных для снижения уровня концентрации CO_2 в помещениях, американский стандарт ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004 предусматривает динамическое изменение режимов работы вентиляции жилых и общественных зданий. Это реализуется средствами DCV (Demand-Controlled Ventilation, DCV), путем регулирования количества подаваемого свежего воздуха сверх минимально необходимого по мере изменения реально складывающейся обстановки, определяемой количеством людей, присутствующих внутри вентилируемого объема.

Для того, чтобы определить характер изменения концентрации углекислого газа в помещении, проведен эксперимент: в помещении (рис. 1) находится человек, занятый умственным трудом. В помещении отсутствуют системы приточно-вытяжной вентиляции.

Пусть в начальный момент времени концентрация вредных веществ в воздухе помещения составляет C_0 единиц массы вещества на 1 м^3 воздуха. Если в этот момент в помещении начинает действовать источник выделения вредных веществ (человек) с интенсивностью $M_{\text{вр}}$ единиц массы вещества в 1 час, то уравнение баланса вредных веществ в любой момент времени имеет вид [5]:

$$M_{\text{вр}} \cdot d\tau - V_{\text{пом}} \cdot dC = 0 \quad (1)$$

где $M_{\text{вр}}$ – источник выделения вредных веществ, мг/ч; $d\tau$ – дифференциал по времени; $V_{\text{пом}}$ – объем помещения, м³; dC – дифференциал концентрации вредного вещества.

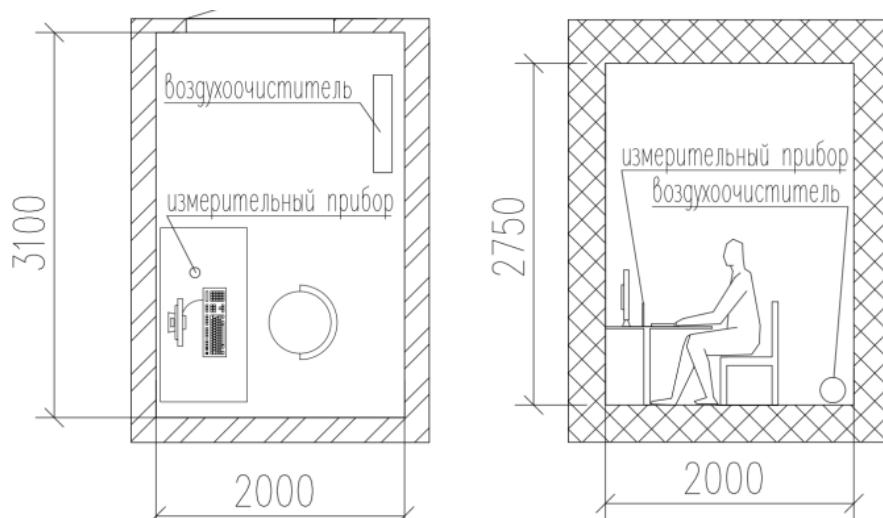


Рис. 1 – Помещение для проведения эксперимента: а – план, б - разрез

Решив уравнение (1) мы получим выражение, которое описывает характер накопления вредных веществ в помещении:

$$C = C_0 + \frac{M_{\text{вр}}}{V_{\text{пом}}} \tau. \quad (2)$$

С помощью эксперимента предполагается проверить достоверность вышеуказанного уравнения в невентилируемом помещении. Длительность эксперимента составляет 1 час, в течение которого человек работает на ПЭВМ. Одновременно ежеминутно проводятся измерения прибором РСЕ-GA 70, позволяющим автоматически сохранять значения концентрации углекислого газа.

По окончании эксперимента получены численные значения, с помощью которых построен график изменения концентрации CO_2 с последующей аппроксимацией полученной кривой линейной функцией и определением коэффициента достоверности аппроксимации R^2 (рис. 2.)

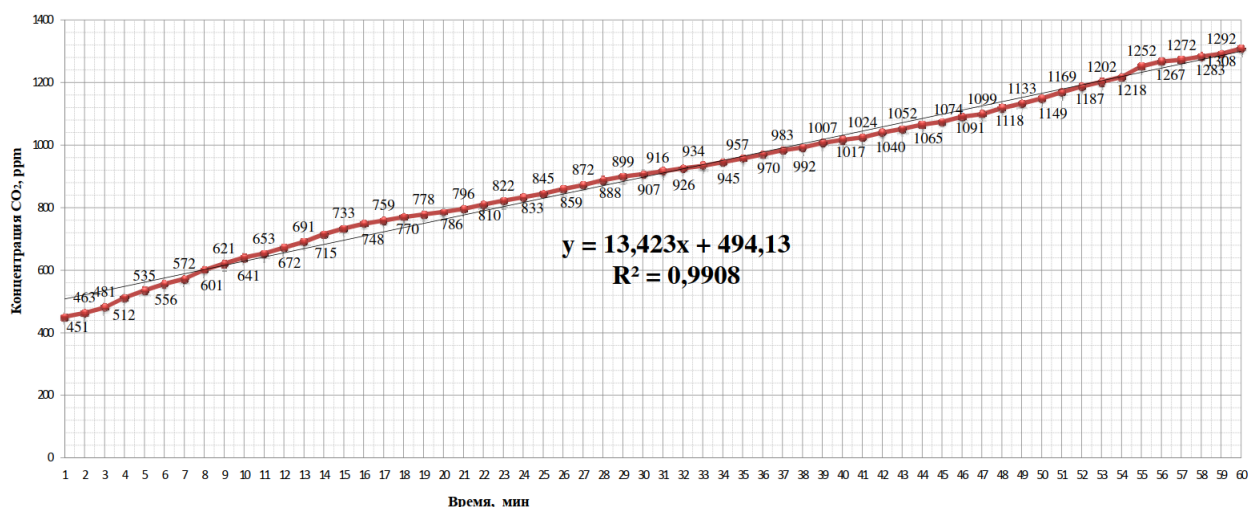


Рис. 2 – Изменение во времени концентрации углекислого газа в невентилируемом помещении

Полученное в результате аппроксимации результатов эксперимента уравнение, характеризующее динамику изменения во времени концентрации углекислого газа в неventилируемом помещении, имеет линейный характер, что соответствует теоретическому уравнению (2).

Определим интенсивность выделения вредного вещества $M_{вр}$ (углекислого газа) в помещение, в предположении, что он распределяется равномерно [5]. Согласно рис. 2, $C_0 = 451 \text{ ppm} = 825 \text{ мг/м}^3$, $C_0 = 1308 \text{ ppm} = 2393 \text{ мг/м}^3$, тогда интенсивность выделения углекислого газа составит:

$$M_{вр} = \frac{C - C_0}{\tau} \times V_{пом} = \frac{2393 - 825}{1} \times 17,05 = 26734 \text{ мг/ч.}$$

Во вдыхаемом воздухе содержится 0,03 % (об.) CO_2 , а в выдыхаемом – 3,6 % (об.) [2], то есть концентрация возрастает более чем в 100 раз.

Для улучшения качества воздушной среды принято проектировать системы вентиляции. Однако, согласно [6] применение традиционных систем климатизации (механической приточно-вытяжной вентиляции и сплит-систем) зачастую не решает поставленной задачи обеспечения в помещении одновременно газового и температурного комфорта. Авторами предлагается альтернативный способ снижения концентрации CO_2 : применение воздухоочистителей.

В настоящее время известно довольно много воздухоочистителей от двуокиси углерода [7, 8, 9]. В проведенном экспериментальном исследовании выбран фильтр с активированным углем.

Для оценки эффективности предлагаемого решения был проведен эксперимент, аналогичный вышеописанному, но с применением устройства для очистки воздуха, конструкция и внешний вид которого приведены на рис. 3, 4.

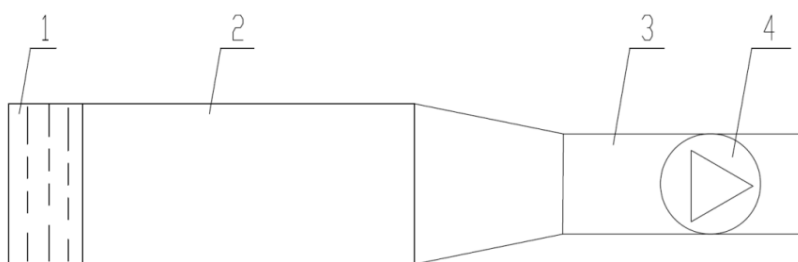


Рис. 3 – Схема конструкции воздухоочистителя:

1 – угольный фильтр; 2 – оцинкованный воздуховод d160; 3 – оцинкованный воздуховод d100;
4 – вентилятор



Рис. 4 – Внешний вид воздухоочистителя

По результатам измерений в течение 1 часа построен график изменения концентрации двуокиси углерода (рис. 5).

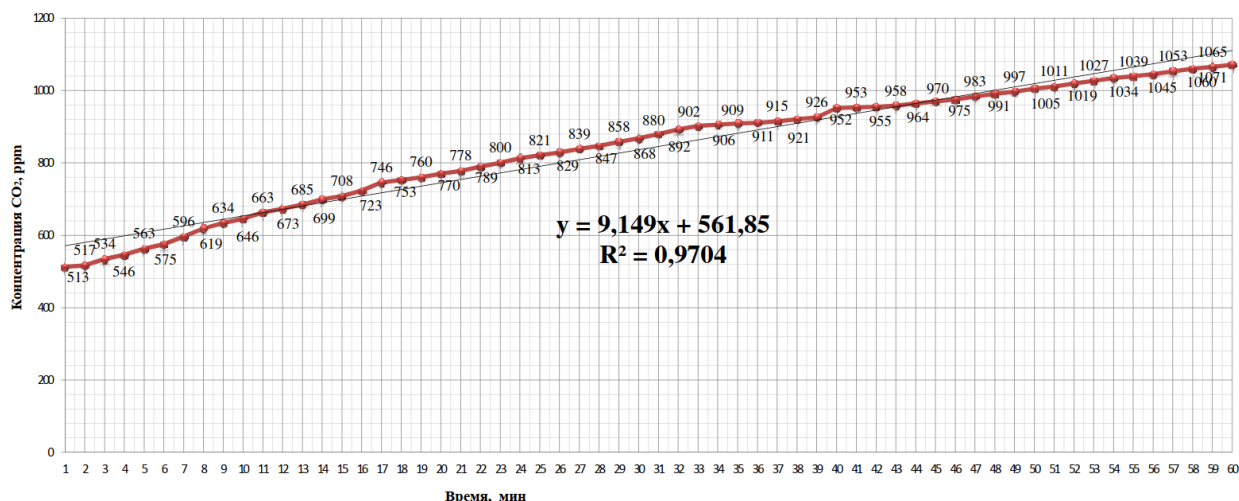


Рис. 5 – Изменение во времени концентрации углекислого газа в помещении при работе воздухоочистителя с активированным углем

Сравнение конечных значений концентрации углекислого газа в проведенных экспериментах (рис. 2, 5), показывает, что ее величина во втором случае значительно ниже

Определим интенсивность выделения вредного вещества $M_{вр}$ (углекислого газа) по формуле (1) в случае работы воздухоочистителя. Согласно рис. 5, $C_0 = 513 \text{ ppm} = 939 \text{ мг/м}^3$, $C = 1071 \text{ ppm} = 1959 \text{ мг/м}^3$:

$$M_{вр} = \frac{C - C_0}{\tau} \times V_{пом} = \frac{1959 - 939}{1} \times 17,05 = 17391 \text{ мг/ч}$$

Вычислим количество CO_2 , поглощенное активированным углем:

$$\Delta M_{вр} = 26734 \frac{\text{мг}}{\text{ч}} - 17391 \frac{\text{мг}}{\text{ч}} = 9343 \text{ мг/ч}$$

Таким образом, результат проведенного эксперимента подтвердил способность активированного угля адсорбировать CO_2 из воздуха неветилируемого помещения. В условиях эксперимента эффективность очистки составила 35 %. В среднем эффективность такого способа очистки составляет от 5 до 50 % (в зависимости от исходных данных и адсорбирующего вещества).

Следует отметить, что зависимость изменения концентрации двуокиси углерода во втором случае также является линейной функцией (см. рис. 5).

В результате проведенных экспериментов доказано, что качественную воздушную среду (в заданных пределах) возможно обеспечить в неветилируемом помещении, применив воздухоочиститель. Очистка внутреннего воздуха от газообразных загрязняющих веществ представляет собой эффективный метод повышения качества воздуха и частичного замещения вентиляции. При этом очевидно, что для повышения эффективности очистки для типичных источников загрязнения внутреннего воздуха необходимы дополнительные разработки технологии очистки и проведение дальнейших исследований [10].

Заключение.

Экспериментально доказано, что концентрация углекислого газа в неветилируемом помещении умственного труда может быть снижена при использовании адсорбирующих воздухоочистителей.

Установлено, что характер изменения концентрации вредного вещества описывается уравнением прямой, как в случае отсутствия, так и при наличии воздухоочистителей, что подтверждает ранее полученные теоретические зависимости.

Предложенное авторами принципиальное решение актуально для помещений с постоянным или временным пребыванием людей с целью повышения качества воздушной среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Физиология человека. Учебник (В двух томах. Т. II)** / В. М. Покровский [и др.]. Под ред. В. М. Покровского, Г. Ф. Коротко. – М.: Медицина, 1997. – 368 с.
2. **Лобанов, Д. В.** Углекислый газ как показатель качества внутреннего воздуха и эффективности работы системы вентиляции / Д. В. Лобанов, И. И. Полосин // Материалы 15-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология». Воронеж, ВГАСУ – 2013. – С. 21-27.
3. **Уаддн, Р. А.** Загрязнение воздуха в жилых и общественных зданиях: Характеристика, прогнозирование, контроль / Р. А. Уаддн, П. А. Шефф; пер. с англ. С. А. Пирумовой; под ред. А. И. Пирумова. – М.: Стройиздат, 1987. – 160 с.
4. **Olli Seppanen.** Энергоэффективные системы вентиляции для обеспечения качественного микроклимата помещений / Olli Seppanen // АВОК. – 2000. – № 5 – С. 26-32.
5. **Каменев, П. Н.** Вентиляция: учебное пособие / П. Н. Каменев, Е. И. Тертичник. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 624 с.
6. **Лобанов, Д. В.** Экспериментальные исследования энергоэффективности работы систем климатизации в офисном помещении / Д. В. Лобанов, Р. А. Шепс, Н. В. Портнова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – Т. 14. – № 3. – С. 71-79.
7. **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.
8. **Известковые поглотители нового поколения** / Н. Ф. Гладышев [и др.]. – М.: Издательский дом «Спектр», 2012. – 136 с.
9. **Кельцев, Н. В.** Основы адсорбционной техники. 2-е изд. перераб. и доп. / Н. В. Кельцев. – М.: Химия, 1984. – 592 с.
10. **Шаронов, В. Е.** Регенерируемые поглотители диоксида углерода на основе оксида кальция и карбонатов щелочных металлов: дис. канд. хим. наук: 02.00.15 / Шаронов Василий Евгеньевич; ин-т катализа им. Г.К. Борескова СО РАН. – Новосибирск, 2004. – 148 с.

Поступила в редакцию 22 сентября 2019

**EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITY
OF CREATING A COMFORTABLE AIR ENVIRONMENT
WITH APPLICATION OF AIR CLEANERS**

D. V. Lobanov, E. S. Isaeva, E. A. Lobanova, A. V. Milyaeva

Lobanov Dmitry Valerevich, senior lecturer of the Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: +7(473)271-28-92; e-mail: LDV-36@mail.ru
Isaeva Ekaterina Sergeevna, graduate student, Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7(952)543-41-92, e-mail: ikskaterina2@mail.ru
Lobanova Elena Alekseevna, graduate student, Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7(903)651-33-43, e-mail: alena-lb85@mail.ru
Milyaeva Anastasia Vladimirovna, graduate student, Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7(951)874-11-46, e-mail: n.milya@bk.ru

The article discusses the need to develop systems based on the use of air cleaners that can improve the environmental situation in rooms with people staying. A person, while indoors, releases a variety of organic and inorganic substances: carbon dioxide, ammonia, acetone,

ethyl and methyl alcohols, etc. Carbon dioxide (CO₂) concentration is used as air quality indicator. The problem of healthy air environment in the premises is acute, requires a complex solution. The inventors propose one of the solutions to this problem, consisting in joint application of ventilation systems, with supply of external air in minimum quantity, and mobile high-efficiency air cleaners capable of adsorbing gas pests. The research was carried out in a room where a person is engaged in mental work with the use of PEVM. Measurements were carried out in two stages: the first - in case of inactivity of microclimate support systems, the second - in case of operation of activated carbon-based air cleaner. According to the results of the experiments, the carbon dioxide concentration was plotted, according to which its value during operation of the air cleaner was lower than in the first stage of the study. The effectiveness of this solution depends on many factors: the type of air cleaner, the nature and mode of operation of people in the room, etc. The authors justified the possibility of using air cleaners in the rooms in order to reduce design air exchanges.

Keywords: Air quality; air cleaner; carbon dioxide concentration; mental labor.

REFERENCES

1. **Pokrovsky V. M.** *Human physiology*. Textbook (in two volumes. T. II). Moscow, Medicine. 1997. 368 p. (in Russian)
2. **Lobanov D. V., Polosin I. I.** *Carbon dioxide as an indicator of indoor air quality and the efficiency of the ventilation system*. Voronezh, Proceedings of 15-th interregional scientific-practical conference High technologies Ecology. 2013. Pp. 21-27. (in Russian)
3. **Uaddn R. A., Sheff P. A.** *Air pollution in residential and public buildings: Characterization, forecasting, control*. Moscow, Stroyizdat, 1987. 160 p. (in Russian)
4. **Olli Seppanen.** *Energy-efficient ventilation systems to ensure a high-quality indoor climate*. ABOK. 2000. No. 5. Pp. 26-32. (in Russian)
5. **Kamenev P. N., Tertichnik E. I.** *Ventilation. Textbook*. Moscow, DIA Publishing House. 2008. 624 p. (in Russian)
6. **Lobanov D. V., Sheps R. A., Portnova N. V.** *Experimental studies of energy efficiency of air conditioning systems in the office*. Bulletin of the Voronezh State Technical University. 2018. T. 14. No. 3. Pp. 71-79. (in Russian)
7. **Andriyashkin O. O., Zhdanova O. A., Kononova M. S.** *Comparison of technical and economic indicators of local devices for purification of supply air*. Housing and communal infrastructure. 2018. No. 1(4). Pp. 104-110. (in Russian)
8. **Gladyshev N. F.** *Calcium absorbers of a new generation*. Moscow, Publishing house Spectrum. 2012. 136 p. (in Russian)
9. **Keltsev N.V.** *The basics of adsorption technology. 2nd ed. reslave. and add.* Moscow, Chemistry. 1984. 592 p. (in Russian)
10. **Sharonov V. E.** *Regenerated carbon dioxide absorbers based on calcium oxide and alkali metal carbonates*. Novosibirsk. 2004. 148 p. (in Russian)

Received 22 September 2019

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Лобанов, Д. В. Экспериментальное обоснование возможности создания комфортной воздушной среды с применением воздухоочистителей / Д. В. Лобанов, Е. С. Исаева, Е. А. Лобанова, А. В. Милыева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 60-66.

FOR CITATION:

Lobanov D. V., Isaeva E. S., Lobanova E. A., Milyaeva A. V. *Experimental substantiation of the possibility of creating a comfortable air environment with application of air cleaners*. Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 4(11). Pp. 60-66. (in Russian)

УДК 697.1

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ СТЕНОВОГО ОТОПЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ

А. А. Мерщиев, Е. Н. Мартынов, М. М. Коробова, Е. О. Чеботарева

Мерщиев Александр Александрович, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-28-9; e-mail: sasha__1990@mail.ru

Мартынов Евгений Николаевич, студент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(915)853-71-31; e-mail: zheny87@yandex.ru

Коробова Мария Михайловна, студент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(900)306-11-93; e-mail: mari.korobova.97@bk.ru

Чеботарёва Елизавета Олеговна, студент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(951)873-51-85; e-mail: liza_chebotareva27@mail.ru

Комфортное существование человека в квартире или частном доме обеспечивают прежде всего интерьер, отделка, декор, площадь и расположение комнат. Одной из составляющих такого уюта является микроклимат в жилом помещении, влажность, температура и отсутствие сквозняков. Для того чтобы система отопления была действительно достаточно эффективной, следует хорошо продумать и рассчитать, какой вид отопительной системы выбрать для достижения оптимальной температуры в помещении. В настоящее время, кроме традиционных радиаторных систем разработаны системы напольного, потолочного и стенового отопления. В статье освещается возможность выполнения стенового отопления двумя методами. Стеновое отопление, прежде всего, обладает высоким тепловым комфортом нежели радиаторное. В материалах статьи произведен тепловой расчет различных типов систем отопления, определена площадь поверхности теплосъёма, определены потери давления систем стенового отопления «мокрым» и «сухим» методами. На основании выполненных расчетов был составлен сравнительный анализ эффективности систем отопления.

Ключевые слова: стеновое отопление; плотность теплового потока; теплопоступления; тепловой комфорт; отсутствие конвективных потоков.

Стеновое отопление – это система обогрева, в которой преобладающее количество теплоты передается путем излучения [1, 2]. Тепловой поток от теплоносителя проходит через стенку трубы, затем через слой бетона (в случае мокрого метода) или гипсокартонные панели (в случае сухого метода) и через чистовую отделку стены. Важным фактором теплового комфорта при стеновом отоплении является уменьшение конвективных потоков нагретого воздуха, которые могут переносить вредные вещества [3].

Одной из причин при выборе такого способа обогрева помещения является экономия энергии при повышении уровня комфорта [10]. Благодаря оптимальному распределению температуры в помещении, можно понизить температуру воздуха на 1...2 °С при сохранении условий теплового комфорта [4, 5]. Такие системы используют теплоноситель с низкой температурой на входе, из-за чего в качестве источников тепла можно использовать солнечные коллекторы, тепловые насосы и конденсационные котлы с высоким КПД [6].

Стеновое отопление может функционировать как самостоятельный отопительный прибор в помещении, либо как дополнительный в совокупности с радиаторным отоплением или теплыми полами, если теплопотери в помещении выше значений максимальной теплоотдачи греющей плиты.

В стеновом отоплении температура теплоносителя не должна превышать 50°C, а оптимальное падение температуры находится в интервале от 5 до 10°C для труб с диаметрами 12 × 2мм, 14 × 2мм, 16 × 2мм, а также от 2,5 до 7,5 °C для труб с диаметром 8 × 1мм.

Подача теплоносителя к греющему контуру осуществляется через коллекторные группы, также греющий контур можно организовывать по системе Тихельмана при условии одинаковой длины отдельных подключаемых веток [7].

При проектировании стенового отопления необходимо руководствоваться следующими принципами:

- ✓ максимальная температура поверхности стены не должна превышать 40 °C;
- ✓ минимальная скорость воды, обуславливающая эффективное удаление воздуха из системы 0,15 м/с;
- ✓ ориентировочная максимально допустимая скорость воды 0,8 м/с (для труб с диаметром 8 мм – 0,3 м/с);
- ✓ ориентировочная максимальная длина греющего контура: 80 м для труб 14 × 2мм, 60м для труб 12 × 2мм и 40 м для труб 8 × 1мм;
- ✓ термическое сопротивление всех слоев стены до трубы должно быть не меньше, чем 0,75 м² × К/Вт, если не предусматривается отопление соседних помещений.

Стеновое отопление выполняется двумя основными способами: мокрый и сухой.

Система Kan-thermRailWall – «мокрый» метод.

При устройстве греющей плиты мокрым методом применяется система крепления Kan-thermRail (рис. 1). Она основана на фиксации труб при помощи шин Rail, которые крепятся к теплоизоляции или непосредственно к поверхности стены с помощью клейкой ленты, находящейся на тыльной стороне шины, металлических шпилек или распорных дюбелей.

Монтаж стенового отопления начинается с укладки утеплителя, если необходимо. Затем крепятся шины Rail и укладывается труба с расчетным шагом. Затем вся конструкция покрывается слоем штукатурки 30...35 мм, при этом минимальная толщина штукатурки над трубой должна быть не менее 10 мм.

Греющие стены не требуют разделительных швов, поскольку производитель используемой штукатурки не предъявляет таких требований. При правильном выполнении системы мокрым методом, штукатурка прочно соединяется с несущим основанием (конструкцией стены) и нет риска ее отслоения. В большинстве случаев достаточно дополнительного армирования швов и углов с помощью штукатурных сеток. Подающие трубопроводы, идущие к греющему контуру по полу, следует прокладывать в изоляции или защитной трубе. При переходе с пола на стену, трубу прокладывать в пластмассовой дуге или использовать системные пластиковые колена.

При монтаже стенового отопления необходимо соблюдать следующие указания:

- ✓ промежуток между шинами Rail должен быть не менее 0,5 м;
- ✓ штукатурка греющей плиты должна иметь хорошую теплопроводность (не менее 0,37 Вт/м²×К), устойчивость к температуре, эластичность и небольшое расширение.
- ✓ температура воздуха во время штукатурных работ должна быть не менее 5 °C;
- ✓ штукатурка выкладывается поэтапно: первый слой должен полностью покрыть греющие трубопроводы. На свежий слой накладывается штукатурная сетка с ячейкой 40 × 40 мм, затем наносится второй слой штукатурки толщиной 10...15 мм. Сетка укладывается внахлест, полосы сетки должны находить друг на друга, а также на соседние поверхности на 10...20 см;
- ✓ максимальная ширина греющей плиты составляет 4 м, высота – 2 м, при этом площадь греющего поля не должна превышать 6 м²;
- ✓ в процессе штукатурных работ греющие трубы должны быть наполнены водой под давлением (минимум 1,5 бар);

✓ запускать стеновое отопление можно только после полного высыхания штукатурки.

Минимальные расстояния от труб до соседних конструкций и проёмов необходимо предусматривать в соответствии со схемой (рис. 2).

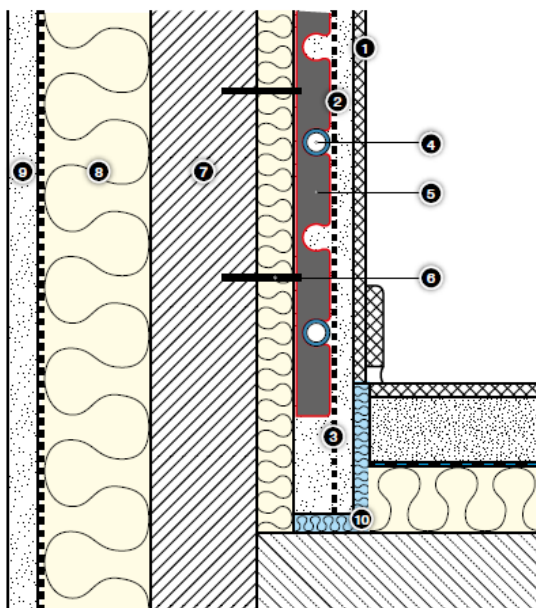


Рис. 1 – Конструкция стенового отопления Kan-thermRailWall:

1 – стеновое покрытие (обои, керамическая плитка); 2 – штукатурка; 3 – монтажная сетка;
4 – греющая труба; 5 – шина для фиксации труб; 6 – распорный дюбель; 7 – конструкция стены;
8 – теплоизоляция; 9 – наружная штукатурка; 10 – разделительный шов

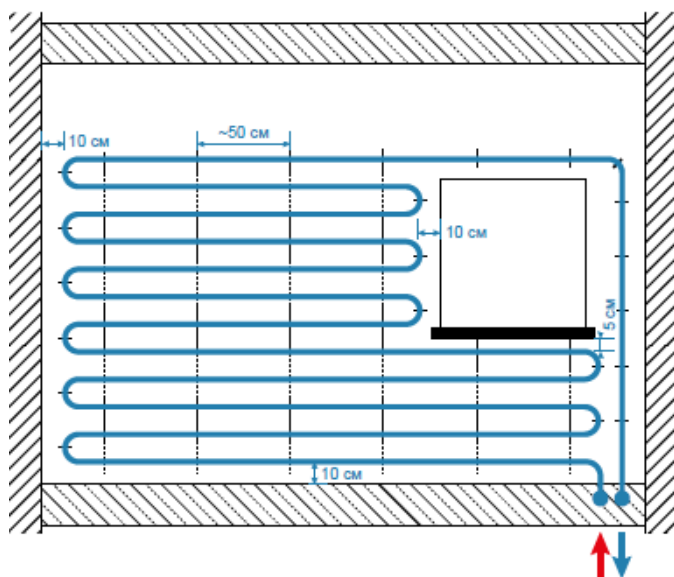


Рис. 2 – Монтажные расстояния в стеновом отоплении

Система Kan-therm TBS Wall – «сухой» метод. Водяное стеновое отопление на базе системных плит Kan-therm TBS относится к конструкции панельного отопления, которая выполняется сухим методом (рис. 3). Греющие трубы укладываются в специально профилированные пенополистирольные плиты с металлическим профилем TBS, а затем прикрываются панелями сухой стяжки с толщиной, зависящей от запроектированной эксплуатационной нагрузки поверхности. Тепло от греющих труб равномерно передается панелям сухой стяжки через металлические излучающие профили, которые вставлены в канавки плит.

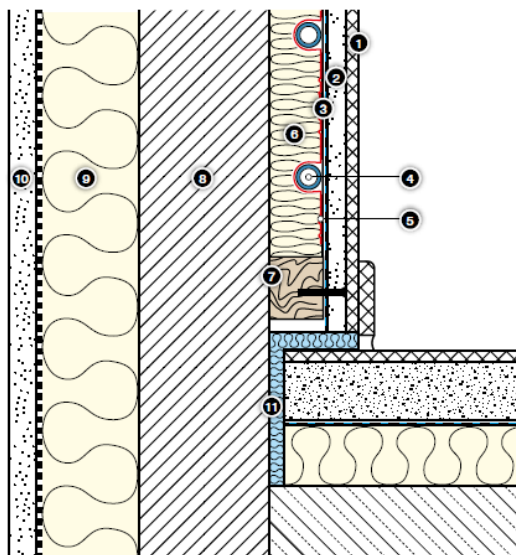


Рис. 3 – Конструкция стенового отопления Kan-therm TBS Wall (продольный разрез):
 1 – стеновое покрытие (обои, керамическая плитка); 2 – сухая штукатурка (гипсокартонная панель);
 3 – пленка РЕ; 4 – греющая труба; 5 – металлический профиль; 6 – системная плата TBS 16;
 7 – деревянная планка; 8 – конструкция стены; 9 – теплоизоляция; 10 – наружная штукатурка;
 11 – разделительный шов

Трубы с диаметром 16 мм размещаются в углублениях металлического профиля из листовой стали, который вставлен в канавки пенополистирольной плиты Kan-therm TBS. Плиты TBS крепятся к поверхности стены между горизонтальными деревянными планками или стальным профилем 25×50 мм. На такую конструкцию накладывается пленка РЕ, выступающая в роли гидроизоляции, затем к планкам прикрепляются гипсокартонные плиты (рис. 4).

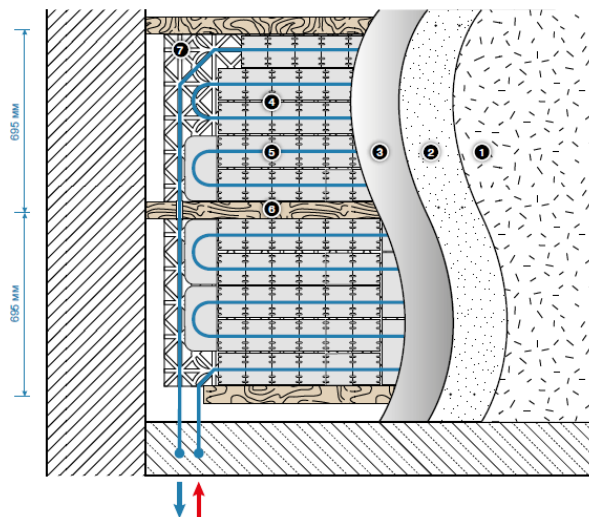


Рис. 4 – Конструкция стенового отопления Kan-therm TBS Wall (поперечный разрез):
 1 – стеновое покрытие (обои, керамическая плитка); 2 – сухая штукатурка (гипсокартонная панель);
 3 – пленка РЕ; 4 – металлический профиль; 5 – греющая труба; 6 – деревянные планки;
 7 – плита Kan-therm TBS

Достоинствами сухого метода является:

- ✓ небольшой слой заделки;
- ✓ легкость конструкции, позволяющая выполнять монтаж на конструкциях с малой несущей способностью;
- ✓ быстрый монтаж;

- ✓ немедленная готовность к работе после монтажа;
- ✓ возможность использования в существующих зданиях при реконструкции.

При монтаже стенового отопления необходимо учитывать следующие указания:

- ✓ трубы укладываются с шагом 166 или 250 мм;
- ✓ пленка РЕ накладывается внахлест на ширину 20 см;
- ✓ поверхность стен под отопление должна быть чистой, ровной и вертикальной;
- ✓ плиты монтируются к поверхности стены между планками при помощи соответствующего клея, предназначенного для приклеивания пенополистирольных плит к строительным конструкциям.

В качестве оценки эффективности систем отопления было рассмотрено два случая.

Обеспечение заданных параметров воздушно-теплого режима в комнате с исходными данными (табл. 1) радиаторным отоплением и системой стенового отопления. В качестве отопительного прибора был принят стальной панельный радиатор фирмы KogadRadik22-50, параметры теплоносителя 80...60 °С. Для расчета системы стенового отопления был принят «мокрый» метод с заложением двух контуров, площадью по 5,5 м² и «сухой» метод с тремя контурами площадью по 4,5 м².

Таблица 1

Параметр	Исходные данные	
	Значение	
	Радиаторное отопление	Стеновое отопление
Температура наружного воздуха, [°C]	-24	-24
Температура внутреннего воздуха, [°C]	22	22
Температура теплоносителя, подающего/обратного трубопроводов, [°C]	80/60	45/40
Тепловая нагрузка помещения, [Вт]	1500	1500

Тепловой расчет стального панельного радиатора. Исходные данные принимаются по данным завода-изготовителя [8].

Расчетная площадь нагревательной поверхности приборов находим по формуле:

$$A_p = \frac{Q_{\text{пр}}}{q_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – требуемая теплоотдача приборов в рассматриваемом помещении, определяется по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{от}} - 0,9Q_{\text{тр}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{от}}$ – расчетные теплотери помещения, равные 1500 Вт; $Q_{\text{тр}}$ – суммарная теплоотдача открыто проложенных трубопроводов (стояков, подводок) в пределах помещения, в расчетах не учитывается, т. к. трубопроводы проложены скрыто в конструкции пола; $q_{\text{пр}}$ – плотность теплового потока прибора, Вт/м², определяется по формуле:

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n} \cdot \left(\frac{G_{\text{пр}}}{360} \right)^p, \quad (3)$$

$q_{\text{ном}}$ – номинальная плотность теплового потока прибора, Вт/м², принимается равной 3139 Вт/м² по [8].

$$G_{\text{пр}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{пр}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{c \cdot (t_r - t_o)}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – требуемая теплоотдача приборов в рассматриваемом помещении, (1500 Вт); t_r , t_o – температура теплоносителя подающего и обратного трубопроводов, принимается 80 °С и

60 °C соответственно; c – удельная массовая теплоемкость воды, равная 4,2 КДж/(кг·°C); β_1 – поправочный коэффициент, учитывающий теплоотдачу через дополнительную площадь принимаемых к установке прибора, равный 1,015; β_2 – поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные потери теплоты, связанные с размещением отопительных приборов у наружных ограждений равный 1,082.

$$G_{\text{пр}} = \frac{3,6 \cdot 1500 \cdot 1,082 \cdot 1,015}{4,19 \cdot (80 - 60)} = 70,77 \text{ кг/ч.}$$

$$q_{\text{пр}} = 3139 \left(\frac{58}{70} \right)^{1+0,25} \left(\frac{70,77}{360} \right)^{0,12} = 2041,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$A_p = \frac{1500}{2041,4} = 0,735 \text{ м}^2.$$

Исходя из выше приведенных расчетов производим подбор отопительного прибора по [8]. Принят отопительный прибор KoradoRadik 22-50-1400, $H_{\text{прибора}} = 500$ мм, $L_{\text{прибора}} = 1,4$ м, с расчетной тепловой мощностью $Q = 1657$ Вт.

Произведем гидравлический расчет системы водяного отопления с одним отопительным прибором.

По справочным данным [9] из таблиц для гидравлического расчета находим линейные потери давления в полимерных трубах и скорость теплоносителя:

$$v = 0,235 \text{ м/с}; R = 96,2 \text{ Па/м.}$$

Длина участка от отопительного прибора до источника теплоты принимаем 8 м.

Удельные потери давления на расчетном участке равны:

$$Rl = 96,2 \times 8 = 769,6 \text{ Па.}$$

Потери давления в местных сопротивлениях определяем по формуле:

$$Z = \sum \zeta \frac{v^2 \cdot \rho}{2}, \quad (5)$$

где ζ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке, равные 0,3 по [9]; v – скорость движения воды, м/с, равная 0,235 м/с по [9]; ρ – плотность воды, кг/м³, равная 999,972 кг/м³ по [9]:

$$Z = 0,3 \cdot \frac{0,235^2 \cdot 999,972}{2} = 8,283 \text{ Па;}$$

находим сумму потерь давлений:

$$Rl + Z = 769,6 + 8,283 = 777,883 \text{ Па.}$$

Тепловой расчет контуров стенового отопления «мокрым» методом.

Для начала находим среднюю логарифмическую разность температур Δt_n , °C, по формуле:

$$\Delta t_n = \frac{t_n - t_o}{\ln \left[\frac{t_n - t_b}{t_o - t_b} \right]}, \quad (6)$$

где t_n – температура подающего теплоносителя, °C, равная 45 °C; t_o – температура обратного теплоносителя, °C, равная 40 °C; t_b – температура воздуха в помещении, °C, равная 22 °C.

$$\Delta t_n = \frac{45 - 40}{\ln \left[\frac{45 - 22}{40 - 22} \right]} = 20,39 \text{ °C.}$$

Находим плотность теплового потока q , Вт/м², передаваемого настенным отопительным прибором, определяется по эмпирической формуле:

$$q = K_n \cdot \Delta t_n, \quad (7)$$

где Δt_n – средняя логарифмическая разность температур, °С, рассчитывается по формуле (6); K_n – константа, равная 7,1, принимается по [10] при заданном шаге трубы $B=0,1$ м, толщины напольного покрытия $S_u=0,045$ м (для керамической плитки) и сопротивления напольного покрытия $R_{\lambda,в}=0,0012$ м²·К/Вт (для керамической плитки).

$$q = 7,1 \cdot 20,39 = 144,77 \text{ Вт/м}^2.$$

Далее находим общие теплопоступления от системы стенового отопления Q , Вт, по формуле:

$$Q = q \cdot A_n, \quad (8)$$

где A_n – площадь плиты, м².

$$Q_i = 144,77 \cdot 5,5 = 796,235 \text{ Вт.}$$

Для покрытия заданных теплопотерь в помещении необходимо использовать два контура, общие теплопоступления которых равны:

$$Q_{\text{общ}} = 796,235 \cdot 2 = 1592,47 \text{ Вт.}$$

Произведем гидравлический расчет одноконтуром стенового отопления:

Расход воды в одном контуре определим по формуле (4):

$$G_{\text{пр}} = \frac{3,6 \cdot 750 \cdot 1,082 \cdot 1,015}{4,19 \cdot (45 - 40)} = 141,54 \text{ кг/ч.}$$

По справочным данным [9] из таблиц для гидравлического расчета находим линейные потери давления в полимерных трубах и скорость теплоносителя:

$$v = 0,361 \text{ м/с; } R = 143 \text{ Па/м.}$$

Длина участка от настенного отопительного прибора до источника теплоты принимаем равным 8 м.

Удельные потери давления на расчетном участке:

$$Rl = 143 \times 8 = 1144 \text{ Па.}$$

Потери давления в местных сопротивлениях определяем по формуле (5):

$$Z = 0,3 \cdot \frac{0,361^2 \cdot 999,972}{2} = 19,55 \text{ Па.}$$

Находим сумму потерь давлений:

$$Rl + Z = 1144 + 19,55 = 1163,55 \text{ Па.}$$

Общие потери давления в системе с двумя контурами равны:

$$R_{\text{общ}} = 1163,55 \times 2 = 2327,1 \text{ Па.}$$

Тепловой расчет контуров стенового отопления «сухим» методом.

По формуле (6) вычисляем логарифмическую разность температур:

$$\Delta t_n = \frac{45 - 40}{\ln \left[\frac{45 - 22}{40 - 22} \right]} = 20,39 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

K_n – константа равная 6,11164, принимается по справочнику «Панельно-лучистое отопление. Система KAN-therm» (Москва, 2017) при заданном шаге трубы $B = 0,166$ м, толщины напольного покрытия $S_u = 0,045$ м (для керамической плитки) и сопротивления напольного покрытия $R_{\lambda,в}=0,00$ м²·К/Вт (для керамической плитки).

По формуле (7) вычисляем плотность теплового потока одного контура:

$$q = 6,1164 \cdot 20,39 = 124,71 \text{ Вт/м}^2.$$

По формуле (8) вычисляем теплопоступления от одного контура:

$$Q_i = 124,72 \cdot 4,5 = 561,24 \text{ Вт.}$$

Для покрытия заданных теплопотерь в помещении необходимо использовать три контура, общие теплопоступления которых равны:

$$Q_{\text{общ}} = 561,24 \cdot 3 = 1683,72 \text{ Вт.}$$

Произведем гидравлический расчет одного контура стенового отопления:

Расход воды в одном контуре по формуле (4) равен:

$$G_{\text{пр}} = \frac{3,6 \cdot 500 \cdot 1,082 \cdot 1,015}{4,19 \cdot (45 - 40)} = 94,36 \text{ кг/ч.}$$

По справочным данным [9] из таблиц для гидравлического расчета находим линейные потери давления в полимерных трубах и скорость теплоносителя:

$$v = 0,241 \text{ м/с; } R = 56 \text{ Па/м.}$$

Длина участка от настенного отопительного прибора до источника теплоты принимаем равным 8 м.

Удельные потери давления на расчетном участке:

$$Rl = 56 \times 8 = 448 \text{ Па.}$$

Потери давления в местных сопротивлениях определяем по формуле (5):

$$Z = 0,3 \cdot \frac{0,241^2 \cdot 999,972}{2} = 8,71 \text{ Па.}$$

Находим сумму потерь давлений:

$$Rl + Z = 448 + 8,71 = 456,71 \text{ Па.}$$

Общие потери давления в системе с двумя контурами:

$$R_{\text{общ}} = 456,71 \cdot 3 = 1370,13 \text{ Па.}$$

Сравнительный анализ итогов проведенных расчетов сведен в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов

Показатель	Радиаторное отопление	Стеновое отопление	
		«мокрый» метод	«сухой» метод
Общий расход теплоносителя в системе, [кг/с]:	0,019	0,039	0,026
Расчетная тепловая мощность системы, [Вт]:	1657	1592,47	1683,72
Потери давления системы отопления [Па]:	1739,883	2327,1	1370,13
Площадь поверхности теплосъема, [м ²]:	0,735	11	13,5

Главный недостаток радиаторного отопления заключается в том, что по сравнению с площадью помещения поверхность радиаторов сравнительно мала. Это создает необходимость нагрева подаваемого теплоносителя до более высоких температур (70...90 °С). А имея такую высокую температуру, радиатор системы отопления по сути перестает быть излучателем тепла, т.е. главным способом передачи тепла становится уже не излучение, а конвекция.

Отопление радиаторами требует прогрева всего объема помещения определенным образом. Температуры помещения по высоте в среднем располагаются так: 1,5 метра над уровнем пола (60 % объема помещения) – средняя температура около + 20 °С, уровень пола от 1,5 м до 2,5 м (40 % помещения) – средняя температура около +26 °С. Таким образом, средняя фактическая температура в помещении объемом V определится по следующему уравнению:

$$T_{\text{сррад}} = 0,6 \cdot 20 + 0,4 \cdot 26 = 22,4 \text{ °С}$$

Чем выше температура в помещении, тем естественным образом выше и его тепловые потери.

Теплые стены характеризует повышенная радиационная температура, благодаря чему отсутствуют холодные ограждения, и в тоже время нет отрицательного влияния на, так

называемую, ощущаемую температуру (результатирующая температура воздуха, температуры стен и пола в помещении), которая обуславливает ощущение теплового комфорта [10].

Средняя температура поверхности только стенового отопления незначительно выше, чем температура воздуха в помещении в холодный период года. При температуре воздуха в помещении 20 °С обеспечивается такой же тепловой комфорт, как при температуре 21...22 °С, который получаем от традиционных отопительных приборов (радиаторов и конвекторов). Стеновому отоплению свойственно наиболее благоприятное для человека равномерное распределение температуры по высоте помещения - близкое к идеальному. Это означает приятное тепло в области стоп и комфортная прохлада на уровне головы.

Благодаря полученным расчетам можно сделать следующие выводы:

- ✓ температура воздуха ниже за счет эффекта обогрева только поверхностей, а не объема воздуха, при котором количество затрачиваемой энергии меньше, чем при обогреве объема;
- ✓ отсутствует движение воздуха и пыли, из-за применения отопления методом излучения, за счет чего улучшаются условия комфортности в помещении;
- ✓ равномерное распределение тепла по помещению;
- ✓ появляется возможность создать интересный и удобный интерьер помещения, из-за отсутствия настенных радиаторов.

Заключение.

В результате проведенных исследований была произведена оценка эффективности – использования системы стенового отопления, на основе расчета мощностей и площади поверхностей отопительных приборов (стальной панельный радиатор и контур стенового отопления).

Проведенный анализ доказывает, что при более низких параметрах теплоносителя удастся обеспечить заданные параметры с более рациональным распределением теплового потока, за счет большей площади теплоотбора отопительного прибора. В то время, как при использовании системы радиаторного отопления для обеспечения заданных параметров возникает необходимость нагревать теплоноситель до высоких температур и использовать крупногабаритные отопительные приборы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха:** справочное пособие / Л. Д. Богуславский [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
2. **Снижение расхода энергии при работе систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха:** справочное пособие / Л. Д. Богуславский [и др.]. – М.: Стройиздат, 1985. – 336 с.
3. **Отопление:** учебник для студентов вызов / А. Н. Сканави [и др.]. – М.: АСВ, 2002. – 576 с.
4. **Автоматизированные системы водяного отопления** / Б. П. Новосельцев, Р. А. Кумаков. – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2009. – 106 с.
5. **Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.** Жилые здания со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и стоянками автомобилей. Коттеджи: справочное пособие / Г. И. Стомахина [и др.]. – М.: Пантори, 2003. – 308 с.
6. **Мерциев, А. А.** Особенности проектирования систем обеспечения микроклимата кредитно-финансового учреждения / А. А. Мерциев, И. П. Мерциева, А. Е. Проскуряков, О. С. Замерина // Инженерные системы и сооружения. – 2013. – № 2. – С. 52-58.
7. **Системы обеспечения микроклимата зданий и сооружений:** учебное пособие. / М. Н. Жерлыкина, С. А. Яременко. – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2013. – 160 с.

8. **Технический справочник Korado.** Рекомендации по применению стальных панельных радиаторов «KORADO» (вторая редакция) / В. И. Сасин, Г. А. Бершидский, Т. Н. Прокопенко, В. Д. Кушнир. – М.: «РАДИК», 2007. – 58 с.

9. **Добромыслов, А. Я.** Таблицы для гидравлических расчетов трубопроводов из полимерных материалов. Том 1. «Напорные трубопроводы». – М.: ВНИИМП, 2004. – 209 с.

10. **Вострикова, А. С.** Системы панельно-лучистого отопления. Влияние на человека / А. С. Вострикова, Н. И. Александрова // Развитие и актуальные вопросы современной науки. – 2017. – №7 (7). – С. 36-38.

Поступила в редакцию 21 октября 2019

APPLICATION OF THE WALL HEATING SYSTEM TO ENSURE THE ROOM MICROCLIMATE PARAMETERS

A. A. Mershchiyev, E. N. Martynov, M. M. Korobova, E. O. Chebotaryova

Mershchiev Alexander Alexandrovich, senior lecturer of the Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: +7(473)271-28-9; e-mail: sasha1990@mail.ru
Martynov Evgeny Nikolaevich, student, Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: +7(915)853-71-31; e-mail: zheny87@yandex.ru
Korobova Maria Mikhailovna, student, Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: +7(900)306-11-93; e-mail: mari.korobova.97@bk.ru
Chebotaryova Elizaveta Olegovna, student, Department of housing and communal services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: +7(951)873-51-85; e-mail: liza_chebotareva27@mail.ru

The comfortable existence of a person in an apartment or a private house is provided primarily by the interior, decoration, decor, area and location of the rooms. One of the components of such comfort is the microclimate in the living room, humidity, temperature and lack of drafts. In order for the heating system to be really effective enough, it is necessary to think well and calculate what type of heating system to choose to achieve the optimal temperature in the room. Currently, in addition to traditional radiator systems, floor, ceiling and wall heating systems have been developed. The article highlights the possibility of performing wall heating by two methods. Wall heating, first of all, has a high thermal comfort than radiator. In the materials of the article the thermal calculation of different types of heating systems is made, the surface area of heat removal is determined, the pressure losses of wall heating systems are determined by «wet» and «dry» methods. On the basis of the performed calculations the comparative analysis of efficiency of heating systems was made. Key words: wall heating, heat flow, heat supply, heat comfort, lack of convective flows.

REFERENCES

1. **Boguslavsky L. D.** *Energy saving in the systems of heat supply, ventilation and air conditioning.* Handbook. Moscow, Stroyizdat. 1990. 624 p. (in Russian)
2. **Boguslavsky L. D.** *Decrease in power consumption during the work of heating systems, ventilation and air conditioning.* Handbook. Moscow, Stroyizdat. 1985. 336 p. (in Russian)
3. **Skanavi A. N.** *Heating. The textbook for students of higher education institutions.* Moscow, DIA. 2002. 576 p. (in Russian)
4. **Novoseltsev B. P., Kumakov R. A.** *The automated systems of water heating.* Voronezh: Voronezh GASU. 2009. 106 p. (in Russian)
5. **Stomakhina G. I.** *Heating, ventilation and air conditioning. Residential buildings with the built-in attached rooms of public appointment and parking of cars. Cottages.* Handbook. [etc.]. Moscow, Pan-Tory. 2003. 308 p. (in Russian)

6. **Mershchiyev A. A., Mershchiyeva I. P., Proskuryakov A. E., Zamerina O. S.** *Features of design of systems of providing microclimate of trade exhibition complexes*. Engineering systems and construction. 2013. No. 2. Pp. 52-58. (in Russian)
7. **Zherlykina M. N., Yaremenko S. A.** *System for microclimate of buildings and structures: textbook*. Voronezh, Voronezh state University of architecture and construction. 2013. 160 p. (in Russian)
8. **Sasin V. I., Bershidsky G. A., Prokopenko T. N., Kounir V. D.** *Korado Technical Handbook. Recommendations on the use of steel panel radiators KORADO* (second edition). Moscow, RADIK, 2007. 58 p. (in Russian)
9. **Dobromyslov A. J.** *Tables for the hydraulic design of pipelines from polymeric materials*. Vol. 1. Pressure pipes. Moscow, VNIIMP. 2004. 209p. (in Russian)
10. **Vostrikova A. S., Alexandrova N. I.** *Systems of panel-radiant heating. Influence on the person*. Development and actual questions of modern science. 2017. No. 7(7). Pp. 36-38. (in Russian)

Received 21 October 2019

Для цитирования:

Мерщиев, А. А. Применение системы стенового отопления для обеспечения параметров микроклимата помещений / А. А. Мерщиев, Е. Н. Мартынов, М. М. Коробова, Е. О. Чеботарева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 67-77.

FOR CITATION:

Mershchiyev A. A., Martynov E. N., Korobova M. M., Chebotaryova E. O. *Application of the wall heating system to ensure the room microclimate parameters*. Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 4(11). Pp. 67-77. (in Russian)

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

УДК 581.1

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЧВ НА СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ ГОРОДА ЙОШКАР-ОЛЫ

Н. Е. Серебрякова, К. В. Гринченко, В. Н. Карасев

Серебрякова Наталья Евгеньевна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры садово-паркового строительства, ботаники и дендрологии, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Российская Федерация, тел.: +7(902)664-44-45; e-mail: serebryakovane@volgatech.net

Гринченко Ксения Владимировна, магистрант, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Российская Федерация, тел.: +7(902)102-02-09; e-mail: 43-45-47@mail.ru

Карасев Валерий Николаевич, д-р с.-х. наук, профессор кафедры садово-паркового строительства, ботаники и дендрологии, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Российская Федерация, тел.: +7(902)664-91-82; e-mail: KarasevWN@gmail.com

Представлены результаты исследований устойчивости древесных растений, в условиях антропогенно измененной городской среды. Произведена оценка влияния состояния урбопочв на жизнестойкость наиболее распространенных в насаждениях центральной части города Йошкар-Олы древесных видов. Уровень жизнестойкости видов определен на основе анализа колебаний импеданса прикамбиального комплекса тканей ствола в сравнении с показателями растений на контрольном участке в Ботаническом саду-институте ПГТУ с низким уровнем техногенной нагрузки. Проблемами городских почв на участках исследования являются повышение плотности почвогрунтов, их зашлачивание и загрязнение нефтепродуктами. Установлено, что лиственные виды липа мелколистная и рябина обыкновенная, составляющие основной ассортимент озеленения города Йошкар-Олы, оправдывают свое применение и выдерживают существенную антропогенную трансформацию почв. Однако сильное уплотнение, равное 1,36 г/см³, все же ослабляет гомеостаз рябины обыкновенной. У липы мелколистной уже при умеренном уплотнении почв и загрязнении нефтепродуктами могут снижаться показатели устойчивости. Виды ели, обладая поверхностной корневой системой, реагируют на трансформацию почв. Жизнестойкость ели колючей «Glauca» снижается при её сильном уплотнении. Ель европейская в условиях городской среды на легких суглинках и отсутствии сильного уплотнения и зашлачивания способна удовлетворительно развиваться и выполнять свои функции.

Ключевые слова: урбопочвы; город Йошкар-Ола; зеленые насаждения; импеданс прикамбиального комплекса тканей ствола; жизненное состояние; устойчивость; уплотнение почв.

Важнейшая функция древесных растений заключается в защите окружающей среды от техногенных воздействий. Одно из основных средств оздоровления городских территорий – создание устойчивой системы зеленых насаждений, выполняющей функцию фитофильтра и противостоящей загрязнению поллютантами, сохраняя при этом необходимые экологические функции. Однако не все растения одинаково хорошо способны сформировать качественную среду в условиях рекреационных нагрузок города [1...8]. Деревья и кустарники в различной степени страдают от комплекса неблагоприятных факторов урбандо-ландшафта, основными из которых являются загрязнение атмосферы и почвы транспортными выбросами и антропогенная трансформация почв в целом [9]. В процессе адаптации к техногенному воздействию у растений происходят различные структурно-функциональные перестройки на уровне целого организма (торможение роста, опадение листьев),

изменение тканей (образование «раневой паренхимы») и клеток (стабилизация мембран, переход митохондрий в «напряженное» состояние), а также накопление различных защитных и адаптогенных соединений [10].

Загрязнение среды города в связи с ростом автопарка и увеличением удельной доли транспортных загрязнений представляет большую экологическую опасность. В урбоэкосистемах нарушены естественные связи между различными их компонентами, резко усилено давление на почвы [11...12]. В городских условиях почвы трансформируют потоки техногенных веществ и обеспечивают устойчивость зеленых насаждений. Их деградация и интенсивное сокращение почвенных ресурсов делают невозможным формирование благоприятной для человека устойчивой среды [13].

В настоящее время человечество, вплотную столкнувшись с комплексом последствий агрессивного взаимодействия с природой, пришло к осознанию необходимости грамотного и бережного сосуществования с ней. Для нейтрализации негативных воздействий мегаполисов важно формирование общественных пространств на основе экологического каркаса города, создание которого невозможно без выявления древесных видов, наиболее адаптированных в условиях возрастающих антропогенных нагрузок.

Показателем, позволяющим оценить жизненное состояние деревьев на начальной стадии развития повреждений до появления видимых признаков ослабления является импеданс прикамбиального комплекса тканей (ПКТ), обусловленный состоянием водного режима данного комплекса [1...5].

Цель работы – оценить влияние состояния урбопочв на устойчивость наиболее распространенных в насаждениях города Йошкар-Олы древесных видов.

Объектами исследования являлись распространенные древесные виды зеленых насаждений города Йошкар-Олы: рябина обыкновенная, липа мелколистная, ель европейская (аборигенные, адаптированные к местным климатическим условиям виды) и ель колючая «Glausa» (дымо-газостойкий интродуцент). Растения находятся в генеративном возрасте. Места произрастания растений характеризуются высокой антропогенной нагрузкой и загрязнением выбросами автотранспорта: придорожные полосы магистральной улицы общегородского значения (участок 1), придорожные полосы жилой улицы с автопарковкой (участок 2), периферия городского сквера с примыканием к жилой улице (участок 3), центральная площадь (участок 4). Все участки расположены в центральном районе города. В качестве контроля использованы насаждения Ботанического сада - института Поволжского государственного технологического и университета (БСИ ПГТУ), находящегося в лесопарковой зоне г. Йошкар-Олы, не испытывающие рекреационного воздействия.

Методика. С целью выявления состояния урбопочв на исследуемых участках проведены исследования их физико-химического состава: гранулометрического состава и плотности сложения, обменной кислотности, содержания нефтепродуктов, подвижного фосфора и обменного калия.

Пробы почв были отобраны по требованиям ГОСТ 17.4.3.01-83 методом «конверта» из пяти точек (глубина 0...25 см), и приведены к одному смешанному образцу.

Обменная кислотность солевой вытяжки измерялась по ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.33-02(ФР.1.31.2005.01764). Подвижные формы калия определялись в соответствии предписаниями ГОСТ 26726-85, показатели фосфора – по ГОСТ Р 54650-2011. Гранулометрический анализ проб почв был проведен прибором ANALYSETTE 22 MicroTecplus (FRITSCH) с помощью лазера [14].

Устойчивость оценивалась на основании значения импеданса ПКТ ствола. Измерения проводились в период вегетации растений во время стабильно теплой и сухой погоды при температуре воздуха +15...+ 25°C прибором Ц 43 314 на частоте 500 Гц вместе с датчиком от электронного влагомера древесины. Расстояние между электродами 20,0 мм, длина активной части электродов 10,0 мм, диаметр – 1,0 мм [1...5]. Данные обработаны методами вариационной статистики с помощью пакета анализа Microsoft Excel на 95-процентном

уровне значимости. Достоверность различия средних значений показателей рассчитана при $\alpha=0,05$.

Результаты.

Результаты анализа проб почв на участках исследования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели урбопочв г. Йошкар-Ола на участках исследования

Наименование показателя почвы	Значения показателей урбопочв на участках исследования			
	Участок 1. Магистральная улица	Участок 2. Жилая улица с автопарковкой	Участок 3. Сквер с примыканием к жилой улице	Участок 4. Центральная площадь
Гранулометрический состав	суглинок легкий	суглинок средний	суглинок легкий	суглинок средний
Плотность сложения, г/см ³	1,18	1,36	1,13	1,36
Содержание нефтепродуктов, мг/кг	149,50	166,54	80,78	69,97
pH солевой вытяжки	7,73	8,20	7,64	7,65
Подвижный фосфор, мг/100г	60,00	28,17	71,23	65,85
Обменный калий, мг/100 г	33,59	27,75	46,30	55,85

По гранулометрическому составу почвы на объектах обследования – суглинистые, но в придорожной полосе жилой улицы и на площади – более тяжелые. Плотность почвы в придорожных полосах повышена: умеренно – на магистральной улице и сквере, сильно – на площади и улице с автопаркингом [15].

Закономерно, что наиболее высокое содержание нефтепродуктов отмечено на участках с наиболее интенсивным движением автотранспорта – на магистральной улице и вблизи автопарковки (превышение в сравнении с участками 3 и 4 в два раза). Загрязнение почв нефтью может приводить к глубоким и часто необратимым изменениям морфологических, физических, физико-химических, микробиологических свойств, что вызывает уменьшение продуктивности естественных и искусственных биоценозов.

Обменная кислотность почвы в анализе образцов – щелочная. Наиболее она выражена в условиях жилой улицы с автопарковкой – 8,2 pH. Комфортная для растений кислотность почвы находится в пределах от 4,1 до 7,9 pH. В щелочной почве сокращается содержание ряда полезных элементов (например, железа, магния, марганца, меди, фосфора, цинка). Неприиспособленные к щелочным почвам растения утрачивают способность к образованию хлорофилла, в результате листья на краях подсыхают, быстро желтеют и опадают. На щелочных почвах pH больше 8,5 сдерживает или препятствует развитию полезной микрофлоры, что плохо сказывается на здоровье как самой почвы, так и на растениях. Следует отметить, что исследуемые листовые виды обладают способностью адаптироваться к щелочным почвам.

При этом определение подвижных форм калия и легкорастворимых соединений фосфатов в образцах выявило их высокое и очень высокое содержание в почве, особенно, на магистральной улице, сквере и площади. Данные элементы необходимы растениям. Фосфор входит в состав многих органических соединений, без которых невозможна жизнь растений. Калий, наряду с азотом и фосфором, является одним из важнейших элементов почвенного питания растений. Он является регулятором углеводного и белкового обмена.

Таким образом, негативным фактором состояния почвы может являться ее уплотнение. Было замечено, что при повышении плотности почвогрунтов свыше 1,1 г/см³ деревья начинают суховершинить [9]. Усугубить состояние растений может зашлачивание, повышенное содержание нефтепродуктов.

Импеданс ПКТ ствола, как показатель жизнестойкости растений приведен в табл. 2 для растений на объектах озеленения города Йошкар-Олы и контрольном участке в БСИ ПГТУ [3...4].

Таблица 2

Импеданс ПКТ ствола лиственных видов в различных по степени антропогенного влияния участках города Йошкар-Олы

Вид	Год исследования	Место произрастания	Статистические показатели импеданса ПКТ ствола, кОм				
			Х _{ср}	±m _{хср}	δ _{хср}	V, %	P, %
Липа мелколистная	2018	Контроль	21,3	1,86	3,21	15,0	8,6
		Участок 1	23,0	1,00	1,73	7,5	4,3
	2017	Контроль	14,4	0,97	3,06	21,2	6,7
		Участок 1	18,3*	0,15	0,65	3,5	0,8
Рябина обыкновенная	2018	Контроль	13,7	0,67	1,15	8,4	4,9
		Участок 2	24,0*	1,41	2,82	11,8	5,9
	2017	Контроль	15,0	1,61	3,22	21,5	10,7
		Участок 1	18,4	0,35	1,22	6,6	2,0
Ель колючая «Glausa»	2018	Контроль	20,6	1,8	3,9	19,3	8,6
		Участок 4	30,2*	2,6	5,8	19,2	8,6
	2017	Контроль	14,8	0,39	0,96	6,5	2,7
		Участок 4	16,2*	0,25	0,57	3,5	1,6
Ель европейская	2018	Контроль	23,4	1,2	2,7	11,5	5,1
		Участок 3	29,2*	1,2	2,8	9,5	4,2
	2017	Контроль	14,8	0,39	0,96	6,5	2,6
		Участок 3	15,3	0,42	1,70	11,1	2,7

Примечание: * – отличие статистически достоверно при $\alpha \leq 0,05$ по сравнению с контрольным участком (БСИ ПГТУ)

Установлено, что при снижении уровня жизнестойкости и зарождении заболеваний величина импеданса ПКТ увеличивается, а более низкие значения этого параметра свойственны здоровым деревьям. Ослабленные деревья имеют значения импеданса ПКТ отличающиеся от здоровых на 30 % и более [1...5].

Все виды демонстрируют снижение жизнестойкости в условиях городской среды при повышенных рекреационных нагрузках и уплотнении почвы, ее защелачивании. Однако наиболее существенное снижение жизнестойкости, почти в два раза в сравнении с контрольным участком, отмечается у рябины обыкновенной на придорожной полосе жилой улицы с сильным уплотнением и щелочной реакцией почвы. При этом, на магистральной улице, где уровень уплотнения ниже и реакция почвы ближе к слабощелочной, ухудшение состояния статистически не подтверждается.

Импеданс ПКТ ствола липы мелколистной разных лет наблюдения имеет различные значения и показывает различные результаты устойчивости вида. В 2017 году снижение жизнестойкости на магистральной улице существенное, а в 2018 – не установлено.

Хвойные виды, за некоторыми исключениями, в наибольшей степени подвержены негативным воздействиям загрязнения атмосферы, что сказывается на их росте и развитии. Вместе с тем, хвойные являются обязательным компонентом ассортиментного состава городских зеленых насаждений [5]. Ель колючая «Glausa» считается устойчивой в городской среде, в отличие от ели европейской, рекомендуется для основного ассортимента и располагается на ключевых объектах озеленения с повышенной антропогенной нагрузкой. Однако поверхностная корневая система видов все же накладывает определенные требования к содержанию и расположению растений. Наши исследования свидетельствуют о стабиль-

ном ослаблении состояния ели колючей «Glausa» при произрастании на центральной площади города в условиях сильного уплотнения почвы (в течении двух лет наблюдений импеданс ПКТ ствола существенно повышен в сравнении с контролем).

В условиях сквера, при меньшем уплотнении почвы, у ели европейской, отстающей по уровню устойчивости к загрязнению воздуха, ослабление состояния выявлено только в 2018 году, а в 2017 – не отмечено.

Заключение.

Аборигенные лиственные виды липа мелколистная и рябина обыкновенная, составляющие основной ассортимент озеленения города Йошкар-Олы, оправдывают свое применение и выдерживают существенную антропогенную трансформацию почв. Однако сильное уплотнение, превышающее $1,36 \text{ г/см}^3$, все же ослабляет гомеостаз рябины обыкновенной. У липы мелколистной уже при умеренном уплотнении почв и загрязнении нефтепродуктами могут снижаться показатели устойчивости.

Жизнестойкость ели колючей «Glausa» снижается при сильном уплотнении почвы. Ель европейская в условиях городской среды на легких суглинках и отсутствии сильного уплотнения и защелачивания почвы способна удовлетворительно развиваться и выполнять свои функции.

Следует продолжить и расширить исследования для установления устойчивого ассортимента и разработки системы рациональных мероприятий для предотвращения ослабления растений на объектах озеленения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Абрамова, Д. А.** Диагностика устойчивости древесных насаждений города Нижнекамска в условиях техногенного загрязнения / Д. А. Абрамова, Н. Е. Серебрякова, В. Н. Карасев // Чтения памяти Т. Б. Дубяго: сборник статей международной конференции под ред. И. А. Мельничук. – СПб, 2016. – С. 29-34.
2. **Серебрякова, Н. Е.** Устойчивость зелёных насаждений в условиях техногенного загрязнения города Нижнекамска / Н. Е. Серебрякова, В. Н. Карасев, М. А. Карасева, Е. А. Медведкова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2017. – № 2. – С. 58-72.
3. **Гринченко, К. В.** Оценка устойчивости лиственных древесных растений в зеленых насаждениях г. Йошкар-Олы физиологическими методами / К. В. Гринченко, Н. Е. Серебрякова, В. Н. Карасев // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. – 2018. – № 2. – С. 23-27.
4. **Серебрякова, Н. Е.** Диагностика устойчивости древесных растений г. Йошкар-Олы по величине импеданса прикамбиального комплекса тканей ствола / Н. Е. Серебрякова, М. С. Баширова // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: технологическая. – 2018. – № 6. – С. 22-26.
5. **Абрамова, Д. А.** Диагностика устойчивости хвойных растений г. Нижнекамска по величине импеданса прикамбиального комплекса тканей / Д. А. Абрамова, Н. Е. Серебрякова, М. А. Карасева // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: Материалы Всероссийской студенческой конференции: в 8 частях. – Йошкар-Ола, 2015. – С. 7-10.
6. **Серебрякова, Н. Е.** Диагностика жизнеспособности древесных растений г. Нижнекамска по активности фермента каталазы / Н. Е. Серебрякова, В. Н. Карасев, М. А. Карасева, Ю. В. Граница // Российский журнал прикладной экологии. – 2015. – № 4. – С. 39-43.
7. **Авдеев, Ю. М.** Жизненное состояние фитоценозов в урбанизированной среде / Ю. М. Авдеев, Ю. П. Попов, С. М. Хамитова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2017. – № 10(133). – С. 148-153.

8. **Карасев, В. Н.** Активность каталазы как показатель жизненного состояния древесных растений в городских условиях / В. Н. Карасев, М. А. Карасева, Н. Е. Серебрякова, Д. А. Абрамова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2015. – № 43. – С. 88-90.
9. **Николаевский, В. С.** Влияние некоторых факторов городской среды на состояние древесных пород / В. С. Николаевский, И. В. Васина, Н. Г. Николаевская // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 1998. – №2. – С. 28-40.
10. **Пахомова, В. М.** Основные положения современной теории стресса и неспецифический адаптационный синдром у растений / В. М. Пахомова // Цитология. – 1995. – Т. 35. – № 1/2. – С. 66-91.
11. **Курбатова, А. С.** Городские почвы – объект исследования и нормирования / А. С. Курбатова // Методы оценки соответствия. – 2010. – № 12. – С. 42-46.
12. **Pickett, S.T.A.** Urban ecological systems: Scientific foundations and 250a decade of progress / S.T.A. Pickett, M.L. Cadenasso, J.M. Grove, Christopher G. Boone, Peter M. Groffman, Elena Irwin, Sujay S. Kaushal, Victoria Mar-shall, Brian P. McGrath, C.H. Nilo, R.V. Pouyat, Katalin Szlavecz, Austin Troy, Paige Warrenm // Journal of Environmental Management. – 2011. – 92. – Рр. 331-362.
13. **Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация** / М. И. Герасимова [и др.]; под ред. Г. В. Добровольского. – Смоленск: Ойкумена, 2003. – 268 с.
14. **Митякова, И. И.** Почвоведение: лабораторный практикум / И. И. Митякова, А. С. Туев. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. – 92с.
15. **Гринченко, К. В.** Новые горизонты. Жизненность древесных видов на урбопочвах различного состояния города Йошкар-Олы [Электронный ресурс] / К. В. Гринченко, Н. Е. Серебрякова, В. Н. Карасев, И. И. Митякова // Материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию БГТУ. – Брянск: БГТУ. – 2019. – С. 625-628. Режим доступа: http://mn.tu-bryansk.ru/files/Novye_Gorizonty2019.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

Поступила в редакцию 30 октября 2019

INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC SOIL TRANSFORMATION OVER THE CONDITION OF WOODY VIEWS IN YOSHKAR-OLA CITY

N. E. Serebryakova, K. V. Grinchenko, V. N. Karasev

Serebryakova Natalya Evgenyevna, Cand. of agricultural sciences, associate Professor at the Chair landscape gardening construction, botany and dendrology, Volga State University of Technology, Russian Federation, phone +7(902)664-44-45; e-mail: serebryakovane@volgatech.net

Grinchenko Ksenya Vladimirovna, graduate student, Volga State University of Technology, Russian Federation, phone: +7(902)102-02-09; e-mail: 43-45-47@mail.ru

Karasev Valeriy Nikolayevich, Doctor of agricultural sciences, Professor at the Chair of landscaping, botany and dendrology, Volga State University of Technology, Russian Federation, phone +7(902)664-91-82; e-mail: KarasevWN@gmail.com

The article presents the results of studies of the stability of trees in the conditions of anthropogenically changed urban environment. The influence of the state of urban soils on the viability of the most common tree species in the plantations of the Central part of the city of Yoshkar-Ola was assessed. The level of species viability was determined on the basis of the analysis of impedance of close to cambial complex of tissues of the trunk tissues in comparison with the indicators of plants at the control site in the Botanical garden-Institute of Volga State University of Technology with a low level of technogenic load. The problems of urban soils in the study areas are increasing the density of soils, their alkalization and contamination with oil products. It is established that the deciduous species *Tilia cordata* and *Sorbus aucuparia* that make

up the main range of landscaping of the Yoshkar-Ola city justify their use and withstand significant anthropogenic transformation of soils. However, a strong seal, 1.36 g / cm³, still weakens the homeostasis of *Sorbus aucuparia*. At a *Tilia cordata* already at moderate soils compaction and pollution by oil products stability indicators can decrease. The types of *Picea*, with a superficial root system, respond to the transformation of soils. Vitality *Picea pungens* «Glauca» is reduced with its strong compaction *Picea abies* in an urban environment on light loam and the absence of strong compaction and latching is able to develop satisfactorily and perform its functions.

Keywords: urban soils; Yoshkar-Ola city; green plantations; impedance of close to cambial complex of tissues of the trunk; vital state; stability; soil compaction.

REFERENCES

1. **Abramova D. A., Serebryakova N. E., Karasev V. N.** *Diagnostics of stability of tree plantations of Nizhnekamsk in the conditions of technogenic pollution*. Readings of memory of T. B. Dubyago, collection of articles of the international conference under the editorship of I. A. Melnichuk. St. Petersburg. 2016. Pp. 29-34. (in Russian)
2. **Serebryakova N.E., Karasev V. N., Karaseva M. A., Medvedkova E. A.** *Stability of green plantations in conditions of technogenic pollution of Nizhnekamsk*. Herald of the Volga State Technological University. Series Forest. Ecology. Nature management. 2017. Issue 2. Pp. 58-72. (in Russian)
3. **Grinchenko K. V., Serebryakova N. E., Karasev V. N.** *Assessment of stability of deciduous woody plants in green plantations of Yoshkar-Ola by physiological methods*. Engineering kadri-are the future of Russia's innovative economy. 2018. Issue 2. Pp. 23-27. (in Russian)
4. **Serebryakova N. E., Bashirova M. S.** *Diagnostics of woody plants stability of Yoshkar-Ola on the impedance of close to cambial complex of tissues of the trunk*. Proceedings of the Volga State Technological University. Series Technological. 2018. Issue 6. Pp. 22-26. (in Russian)
5. **Abramova D. A., Serebryakova N. E., Karasev V. N.** *Diagnosis of stability of coniferous plants of Nizhnekamsk on the impedance value of close to cambial complex of tissues of the trunk*. Engineering kadri are the future of Russia's innovative economy, collection of articles of the Vse-rossiyskoi student conference in 8 parts. Yoshkar-Ola. 2015. Pp. 7-10. (in Russian)
6. **Serebryakova N.E., Karasev V. N., Karaseva M. A., Granica Yu. V.** *Diagnostics of viability of woody plants of Nizhnekamsk by activity of enzyme catalase*. Russian journal of applied ecology. 2015. No. 4. Pp. 39-43. (in Russian)
7. **Avdeev Yu. M., Popov Yu. P., Khamitova S. M.** *Vital state of phytocenoses in urbanized environment*. Bulletin of Krasnoyarsk state agrarian University. 2017. No. 10(133). Pp. 148-153. (in Russian)
8. **Karasev V. N., Karaseva M. A., Serebryakova N. E., Abramova D. A.** *Activity of catalase as an indicator of the vital state of woody plants in urban conditions*. Actual problems of the forest complex. 2015. No. 43. Pp. 88-90. (in Russian)
9. **Nikolayevsky B. C., Vasina I. V., Nikolaevskaya N. G.** *Influence of some factors of the urban environment on the state of tree species*. Vestnik Moscow state forest University. Lesnoy vestnik. 1998. No. 2. Pp. 28-40. (in Russian)
10. **Pakhomova V. M.** *Basic provisions of the modern theory of stress and nonspecific adaptation syndrome in plants*. Cytology. 1995. Vol. 35. No. 1/2. Pp. 66-91. (in Russian)
11. **Kurbatova A. S.** *Urban soils – the object of research and rationing*. Methods of conformity assessment. 2010. No. 12. Pp. 42-46. (in Russian)
12. **Pickett S.T.A., Cadenasso M.L., Grove J.M., Boone Ch. G., Groffman P. M., Irwin E., Kaushal S. S., Mar-shall V., McGrath B. P., Nilo C.H., Pouyat R.V., Szlavecz K., Troy A., Warrenm P.** *Urban ecological systems: Scientific foundations and 250a decade of progress*. Journal of Environmental Management. 2011. 92. Pp. 331-362.

13. **Gerasimov M. I.** *Anthropogenic soils: Genesis, geography, reclamation*. Smolensk, Publishing House of Oikumena. 2003. 268 p. (in Russian)

14. **Mityakova I. I., Tuev A. S.** *Soil science: laboratory workshop*. Yoshkar-Ola, Publishing by PSTU. 2014. 92 p. (in Russian)

15. **Grinchenko K. V., Serebryakova N. E., Karasev V. N., Mityakova I. I.** *Vitality of tree species on urban soils of different conditions of the city of Yoshkar-Ola*. New horizons, Articles of the VI International Scientific and Practical conference dedicated to the 90th anniversary of Bryansk State Technical University. Bryansk. 2019. http://mn.tu-bryansk.ru/files/Novye_Gorizonty2019.pdf. Ver. from the screen. (in Russian)

Received 30 October 2019

Для цитирования:

Серебрякова, Н. Е. Влияние антропогенной трансформации почв на состояние древесных видов города Йошкар-Олы / Н. Е. Серебрякова, К. В. Гринченко, В. Н. Карасев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 78-85.

FOR CITATION:

Serebryakova N. E., Grinchenko K. V., Karasev V. N. *Influence of anthropogenic soil transformation over the condition of woody views in Yoshkar-Ola city*. Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 4(11). Pp. 78-85. (in Russian)

**ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЕ ХОЗЯЙСТВО
И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

**ROAD TRANSPORT, AGRICULTURE
AND CONSTRUCTION MACHINES**

УДК 625.85

**ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
РЕГЕНЕРИРОВАННОГО АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ
ИЗ ЩЕБЁНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ АВТОДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Н. А. Красилов, Е. В. Данилин, В. М. Дудин

Красилов Никита Александрович, магистрант, ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Российская Федерация, тел.: +7(905)139-00-38; e-mail: nkrasilov@mail.ru
Данилин Егор Владимирович, магистрант, ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Российская Федерация, тел.: +7(915)970-55-15; e-mail: egor.danilin2015@yandex.ru
Дудин Владимир Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры гидротехническое и дорожное строительство, ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Российская Федерация, тел.: +7(915)976-15-46; e-mail: dudinvn@ystu.ru

Рассмотрена актуальная проблема, связанная с дефектами и повреждениями автодорожных покрытий. Основная задача на момент исследования - проведение оценки пригодности материалов на основе регенерированного асфальтобетонного покрытия из щебёночно-мастичного асфальтобетона для выполнения ремонтных работ асфальтобетонных покрытий. Решение данной проблемы заключается в подборе оптимального состава используемых в ремонте материалов, которые бы не только удовлетворяли основным критериям государственных стандартов, но и показывали бы улучшенные эксплуатационные характеристики. Для достижения поставленной цели были сформированы опытные образцы из регенерированного асфальтового покрытия на основе щебёночно-мастичного асфальтобетона разных фракций, изготовленные при различных температурных режимах. При проведении экспериментальных исследований определялись следующие показатели: объемная плотность, водонасыщение и предел прочности на сжатие. После каждого опыта определялась зависимость между составом образцов, температурой смеси при формовании и исследуемыми показателями. Полученные зависимости представлены в виде графиков и могут послужить основанием для проведения дальнейших корректировок, с целью подбора оптимального состава и режимов формования асфальтобетона на основе асфальтобетонной крошки из щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Ключевые слова: регенерация асфальтобетона; оптимальный состав; испытываемые образцы; щебёночно-мастичный асфальтобетон; температурный режим.

В настоящее время в России основными дефектами на автомобильных дорогах являются недостаточная прочность дорожной одежды и неровность дорожного покрытия. Несмотря на многочисленные усилия дорожно-строительных и эксплуатационных организаций, состояние дорожной сети во многих регионах России продолжает ухудшаться.

Последним достижением в области ремонта дорожных покрытий нежесткого типа является технология регенерации, позволяющая эффективно повторно использовать материалы старого дорожного полотна [1, 2, 3]. Регенерация асфальта - это технологический процесс переработки старого слоя асфальтобетонного материала, который представляет собой восстановление и улучшение эксплуатационных характеристик асфальтобетона с целью

© Красилов Н. А., Данилин Е. В., Дудин В. М., 2019

повторного использования.

Повторное использование асфальтобетонного материала позволяет снижать материалоемкость дорожно-ремонтных работ и работ, связанных с укладкой дорожных покрытий [4, 5]. Регенерированная асфальтобетонная смесь помимо устройства слоев дорожного покрытия, может также применяться и для создания верхних слоев дорожного основания [6]. В зависимости от способа регенерации и объема старого слоя асфальтобетона, используемого при приготовлении регенерированной смеси, возможно снижение затрат на восстановление дорожной одежды на 20...30 % по сравнению с традиционной технологией, когда асфальтирование выполняется с применением новой асфальтобетонной смеси [7, 8, 9].

Целью работы является подбор оптимального состава регенерированного асфальтобетона на основе щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА).

Опыты проводились по ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства». Для проведения испытаний регенерированного асфальтобетона было изготовлено 60 опытных образцов. Формование образцов производилось путем объемного уплотнения образцов на прессе в специальных формах. Для подбора оптимального состава изготавливались образцы из регенерированного асфальтобетона трёх разных фракций: 11,2 мм; 8,0 мм и 5,6 мм. Разделение на фракции проводилось с целью исключения механической сегрегации асфальтобетонной крошки и получения стабильного состава ремонтной смеси.

Для определения наиболее рациональной температуры формования опытных образцов для каждой фракции проводилось формование при четырех различных температурах: 20 °С; 70 °С; 120 °С и 170 °С. Для того, чтобы довести асфальтобетонную смесь до необходимой температуры, использовался сушильный шкаф. Для уменьшения потерь тепла разогретой асфальтобетонной смеси при попадании в форму, производился предварительный нагрев формы до температуры смеси. Формование опытных образцов проводилось для различного гранулометрического состава и количества добавляемого в смесь битума.

В ходе испытаний образцов из регенерированного асфальтобетона на основе ЩМА, определялись следующие показатели [10]:

- ✓ объемная плотность;
- ✓ водонасыщение;
- ✓ морозостойкость;
- ✓ предел прочности на сжатие при температуре формования образцов 20 °С, 70 °С, 120 °С, 170 °С.

Марка асфальтобетона, из которого была получена асфальтобетонная крошка, определялась выжиганием смеси в печи при 500 °С. После выжигания образцы помещались на грохот, где определялся остаток на каждом сите и определялась марка ЩМА согласно ГОСТ31015-2002.

Средняя плотность опытных образцов определялась при помощи гидростатического взвешивания. Измерялась масса образцов, взвешенных: на воздухе, в воде; а также масса образцов, выдержанных в течение 30 минут в воде и вторично взвешенных на воздухе.

Средняя плотность образца из смеси вычислялась по формуле:

$$\rho_m = \frac{g \cdot \rho_v}{g_2 - g_1}, \quad (1)$$

где g – масса образца, взвешенного на воздухе, г; ρ_v – плотность воды, равная 1 г/см³; g_1 – масса образца, взвешенного в воде, г; g_2 – масса образца, выдержанного в течении 30 минут в воде и вторично взвешенного на воздухе, г.

После определения необходимых показателей, рассчитывалась средняя плотность. На основе полученных данных был построен график, который представлен на рис. 1.

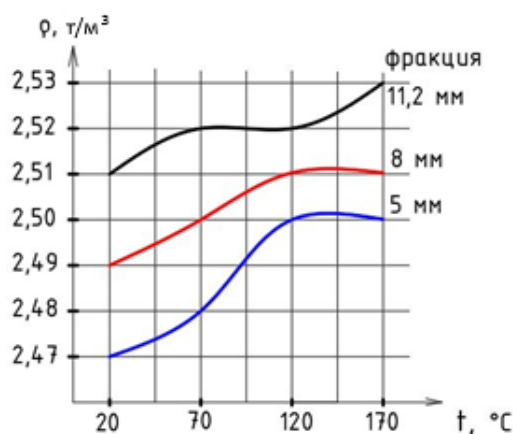


Рис. 1 – График зависимости средней плотности от температуры формования образцов

Исходя из полученных данных, был сделан вывод о том, что при увеличении температуры смеси для формования образцов, увеличивается и их плотность. Плотность отформованных образцов увеличивается при увеличении размера фракции асфальтобетонной крошки.

Затем определялся предел прочности при сжатии. Сущность данного метода заключается в определении нагрузки, необходимой для разрушения образца при заданных условиях.

Перед испытанием образцы выдерживались в воде при заданной температуре (20 °C) в течение 1 часа. После чего, при помощи пресса, производилось нагружение образца. Максимальное значение силоизмерителя принималось за разрушающую нагрузку.

Результаты проведения испытаний отражены на рис. 2.

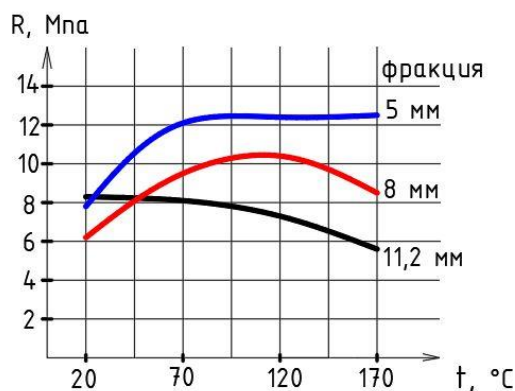


Рис. 2 – График зависимость предела прочности от температуры формования образцов

Проанализировав результаты, можно сделать вывод о том, что для образцов с размером фракции 5,6 мм увеличение температуры смеси при формовании приводит к увеличению прочности. Для образцов с размером фракции 8 мм имеется оптимальная температура смеси при формовании, которая находится в пределах 120 °C. Увеличение температуры смеси при формовании для образцов с размером фракции 11,2 мм приводит к уменьшению прочности.

Метод измерений водонасыщения и набухания заключается в определении количества воды, которое может поглотить испытуемый образец, и определении приращения объема образца при установленном режиме насыщения за определенное время.

Испытуемые образцы помещались в ёмкость с водой при температуре (20 ± 2) °C таким образом, чтобы уровень воды над испытуемыми образцами был не менее 30 мм и исключая соприкосновение образцов друг с другом. Далее ёмкость с испытуемыми образцами

устанавливалась в вакуумную установку, где создавался вакуум – 2000 Па и образцы выдерживались в течение 1 часа.

После чего давление доводилось до атмосферного и испытуемые образцы выдерживались в этой же ёмкости с водой при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение (30 ± 1) мин. По истечении заданного времени образцы вынимались из воды, обтирались влажным полотенцем за время, равное не более 5 с и взвешивались на воздухе. Масса каждого испытуемого образца D записывалась с точностью до 0,01 г. Вся воду, стекающую с испытуемого образца во время взвешивания, считали частью массы образца.

Далее водонасыщение W , %, вычислялось по следующей формуле:

$$W = \frac{100 \cdot (D - A)}{B - C}, \quad (2)$$

где D – масса испытуемого образца, насыщенного водой и взвешенного на воздухе, г; A – масса испытуемого образца, взвешенного на воздухе, г; B – масса испытуемого образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и взвешенного на воздухе, г; C – масса испытуемого образца, взвешенного в воде, г.

Результаты проведенных измерений и вычислений приведены на рис. 3.

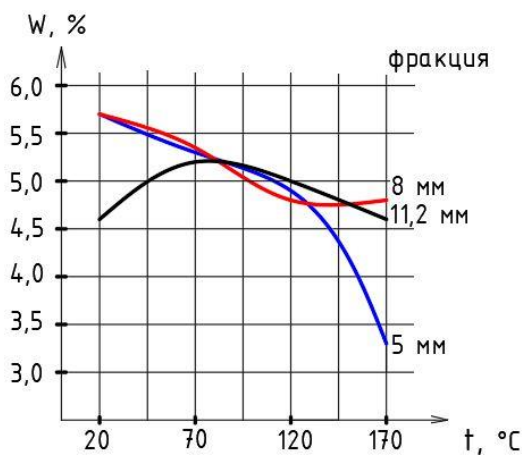


Рис. 3 – График зависимости водонасыщения от температуры формирования образцов

Закключение.

Увеличение размера фракции асфальтобетонной крошки для ремонтного состава и температуры смеси при формировании позволяет получить более плотное покрытие с меньшим значением водонасыщения, но при этом прочность асфальтобетона уменьшается.

Сформованные и испытанные образцы не в полной мере соответствуют ГОСТ 31015-2002, поэтому требуются дальнейшие исследования по подбору состава и режимов формирования асфальтобетона на основе асфальтобетонной крошки из щебеночно-мастичного асфальтобетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Рыбьев, И. А.** Строительные материалы на основе вяжущих веществ. – М.: Высшая школа, 1978. – 309 с.
2. **Сычев, Я. С.** Горячая регенерация асфальтобетонных покрытий / Я. С. Сычев, В. Г. Степанец. // Молодой ученый. – 2017. – № 18. – С. 88-95.
3. **Филатов, С. Ф.** Восстановление асфальтобетонных покрытий методом холодного ресайклинга / Под ред. Т. И. Калинина. – Омск: Изд – во СиБАДИ, 2009. – С. 117.
4. **Кириухин, Г. Н.** Покрытия из щебеночно – мастичного асфальтобетона / Г. Н. Кириухин, Е. А. Смирнов. – М.: ООО «Издательство Элит». – 2009. – 176 с.

5. **Лупанов, А. П.** Повторное использование асфальтобетона на АБЗ / А. П. Лупанов, В. В. Силкин. – М.: Экон-Информ, 2019. – 191 с.
6. **Костин, В. И.** Основы технологии производства асфальтобетонных смесей: методическое пособие по курсу «Производственная база дорожного строительства» для слушателей МИПК и студентов специальности 291000 «Автомобильные дороги и аэродромы». – Н. Новгород: МИПК ИНРАСУ, 2004. – 46 с.
7. **Силкин, В. В.** Ресурсосберегающие технологии на производственных предприятиях дорожного хозяйства [Электронный ресурс] / В. В. Силкин [и др.], под общ. ред. В. В. Силкина, А. П. Лупанова. – М.: Экон-Информ, 2012. – Режим доступа <https://search.rsl.ru/ru/record/01005514440>, свободный – Загл. с экрана.
8. **Надыкто, Г. И.** Дорожный асфальтобетон: учебное пособие / Г. И. Надыкто, В. С. Прокопец. – Омск: СибАДИ, 2009. – 154 с.
9. **Аминов, Ш. Х.** Современные битумные вяжущие и асфальтобетоны на их основе / Ш. Х. Аминов [и др.]. – Санкт-Петербург: Недра, 2007. – 333 с.
10. **Афиногенов, О. П.** Обеспечение качества щебеночно - мастичных асфальтобетонов / О. П. Афиногенов [и др.] // Молодой ученый. – 2012. – № 4 – 18. – 20 с.

Поступила в редакцию 30 октября 2019

THE ASSESSMENT OF THE SUITABILITY OF MATERIALS BASED ON RECYCLED ASPHALT PAVEMENT STONE MASTIC ASPHALT CONCRETE FOR REPAIR WORK OF ROAD COATINGS

N. A. Krasilov, E. V. Danilin, V. M. Dudin

Krasilov Nikita Alexandrovich, graduate student, Yaroslavl state technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: +7(905)139-00-38; e-mail: nkrasilov@mail.ru

Danilin Egor Vladimirovich, graduate student, Yaroslavl state technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: +7(915)970-55-15; e-mail: egor.danilin2015@yandex.ru

Dudin Vladimir Mihailovich, Cand. tech. sciences, associate professor of the department of hydraulic engineering and road construction, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: +7(915)976-15-46; e-mail: dudinvm@ystu.ru

In this work the actual problem for today directly connected with the main defects and damages of automobile coverings is considered. The main task at the time of the study is to assess the suitability of materials based on regenerated asphalt concrete coating from crushed stone-mastic asphalt concrete for the repair of asphalt concrete coatings. The solution to this problem is to select the optimal composition of the materials used in the repair, which would not only meet the basic criteria of state standards, but also show improved performance. To achieve this goal, from the regenerated asphalt coating on the basis of crushed stone-mastic asphalt concrete, prototypes of different fractions were formed, manufactured at different temperature conditions. During the experimental studies, the following parameters were determined: volume density, water saturation and compressive strength. After each experiment, the dependence between the composition of the samples, the temperature of the mixture during molding and the studied parameters was made. The dependence was presented in the form of graphs. Based on the obtained dependencies, intermediate conclusions were made, on the basis of which further adjustments will be made, in order to select the optimal composition and modes of forming asphalt concrete on the basis of asphalt concrete chips from bitumen.

Keywords: regeneration of asphalt concrete; optimal composition; test samples; crushed stone-mastic asphalt concrete; temperature regime.

REFERENCES

1. **Rybiev I. A.** *Building materials based on binders*. Moscow, Higher School. 1978. 309 p. (in Russian)
2. **Sychev Ya. S., Stepanets V. G.** *Hot regeneration of asphalt concrete pavements*. Young scientist. 2017. No. 18. Pp.88-95 (in Russian)
3. **Filatov S. F.** *Restoration of asphalt concrete coatings by cold recycling*. Omsk, Publishing House – SibADI. 2009. P.117 (in Russian)
4. **Kiryukhin G. N., Smirnov E. A.** *Coatings from crushed stone – mastic asphalt concrete*. Moscow, Publishing House Elite. 2009. 176 p. (in Russian)
5. **Lupanov A. P., Silkin V. V.** *Reuse of asphalt concrete at the ABZ*. Moscow, Econ-Inform. 2019.191 p. (in Russian)
6. **Kostin V. I.** *Fundamentals of technology for the production of asphalt-concrete mix*. Methodological manual for the course Production base of road construction for students of MIPK and students of specialty 291000 Roads and airfields. Nizhny Novgorod, MIPK INRASU. 2004. 46 p. (in Russian)
7. **Silkin V. V.** *Resource-saving technologies in the manufacturing enterprises of the road sector*. Moscow, Econ-Inform, 2012. <https://search.rsl.ru/en/record/01005514440>, free - Ver. from the screen. (in Russian)
8. **Nadykto G. I., Prokopets V. S.** *Road asphalt concrete: a training manual*. Omsk, SibADI. 2009. 154 p. (in Russian)
9. **Aminov S. K.** *Modern bituminous binders and asphalt concrete based on them*. St.petersburg, Nedra. 2007. 333 p. (in Russian)
10. **Afinogenov, O. P.** *Quality assurance of crushed stone – mastic asphalt concrete*. Young Scientist. 2012. No. 4. Pp. 18-20. (in Russian)

Received 30 October 2019

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Красилов, Н. А. Оценка пригодности материалов на основе регенерированного асфальтобетонного покрытия из щебёночно-мастичного асфальтобетона для выполнения ремонтных работ автодорожных покрытий / Н. А. Красилов, Е. В. Данилин, В. М. Дудин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 86-91.

FOR CITATION:

Krasilov N. A., Danilin E. V., Dudin V. M. *The assessment of the suitability of materials based on recycled asphalt pavement stone mastic asphalt concrete for repair work of road coatings*. Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 4(11). Pp. 86-91. (in Russian)

УДК 625.04

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ДОРОЖНОЙ СЕТИ ПО СОСТОЯНИЮ ПОКРЫТИЯ

С. В. Алексиков, М. И. Альшанова

Алексиков Сергей Васильевич, д-р техн. наук, профессор кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(969)287-85-61; e-mail: al34rus@mail.ru

Альшанова Марина Игоревна, магистрант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Российская Федерация, тел.: +7(995)401-55-66; e-mail: alshanova2014@yandex.ru

При всем разнообразии подходов к планированию дорожно-ремонтных работ методика формирования плана ремонта дорожной сети по международному показателю ровности IRI отсутствует. В настоящее время проводится масштабная диагностика сети автомобильных дорог по показателю продольной ровности и наличию дефектов покрытия. Результатом такой диагностики в свою очередь является значительный массив достоверных данных удобный для дальнейшего статистического анализа. Целью статистического анализа стала оценка надежности дорожной сети по состоянию покрытия и выявление законов распределения показателя ровности IRI для автомобильных дорог с разной степенью износа. Результатом проведенных исследований стали функциональные зависимости: протяженности разрушенных участков от протяженности с показателем ровности IRI, среднего значения IRI от протяженности разрушенных участков дороги, коэффициента вариации IRI от протяженности дорог с показателем ровности более допустимого значения. Установленные зависимости в дальнейшем позволят определить влияние показателя IRI на среднюю скорость транспортных потоков и показатели безопасности дорожного движения, разработать экономико-математическую модель оптимизации плана ремонта дорожного покрытия по восстановлению его ровности и шероховатости.

Ключевые слова: надежность; IRI; планирование дорожно-ремонтных работ; ровность; степень износа.

В рамках реализации приоритетного проекта по направлению стратегического развития Российской Федерации «Безопасные и качественные дороги» стартовали масштабные исследования по диагностике состояния территориальной сети автомобильных дорог. Выходными данными такого исследования являются показатели продольной ровности и дефектов покрытия [1, 2]. Результаты диагностики являются основой формирования плана дорожно-ремонтных работ.

Существует несколько подходов к планированию дорожно-ремонтных работ: подход, основанный на ведомственных дефектах, планирование по циклической системе работ, по критерию обеспеченности расчётной скорости движения, по «индексам соответствия» и т.д. [3, 4, 5]. Однако ни один из перечисленных подходов не позволяет планировать дорожно-ремонтные работы по показателю ровности IRI (по ГОСТ 33101-2014).

Для разработки методики формирования плана ремонта дорожной сети по показателю ровности IRI выполнена вероятностная оценка надежности территориальных автомобильных дорог Волгоградской области по состоянию покрытия [6]. С этой целью в 2019 году проведена диагностика территориальной дорожной сети в 15 районах Волгоградской области. С помощью ходовой лаборатории «Трасса» было обследовано 85 дорог II...IV технических категорий, общей протяженностью 3985 км. По результатам диагностики определена протяженность автомобильных дорог, отвечающих нормативному состоянию по показателю продольной ровности IRI и повреждению проезжей части (рис. 1). Степень разру-

шения проезжей части определялась по балльной системе, согласно ОДМ 218.4.039-2018. Участки дорог признавались отвечающими нормативным требованиям по степени разрушения проезжей части, если средний балл ее состояния был более 3,0.

Результаты диагностики показали, что нормативному состоянию покрытия по продольной ровности отвечает от 40 до 90 % дорог, по наличию недопустимых повреждений на проезжей части от 71 до 96 %.

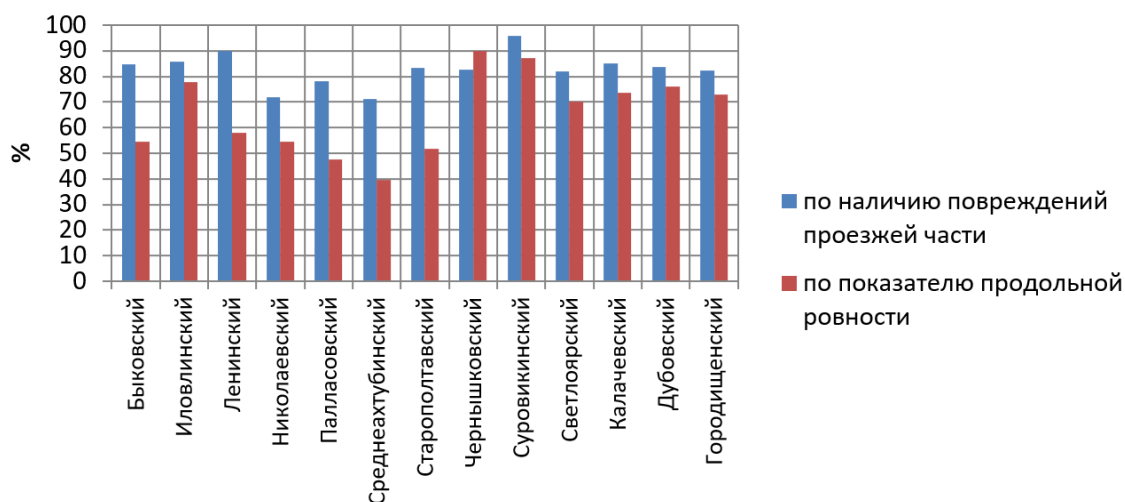


Рис. 1 – Состояние региональной дорожной сети по соответствию нормативным требованиям

Рассмотренные выше показатели взаимосвязаны между собой и непосредственно влияют на скорость транспортных потоков и безопасность дорожного движения [7]. Статистическая обработка данных диагностики (рис. 2) показала линейную зависимость протяженности разрушенных участков от протяженности с показателем ровности IRI более допустимого, определяемую выражением:

$$L_d = 1,246 \times L_p + 0,50.$$

Коэффициент корреляции находится в пределах от 0,93 до 0,99 [8, 9].

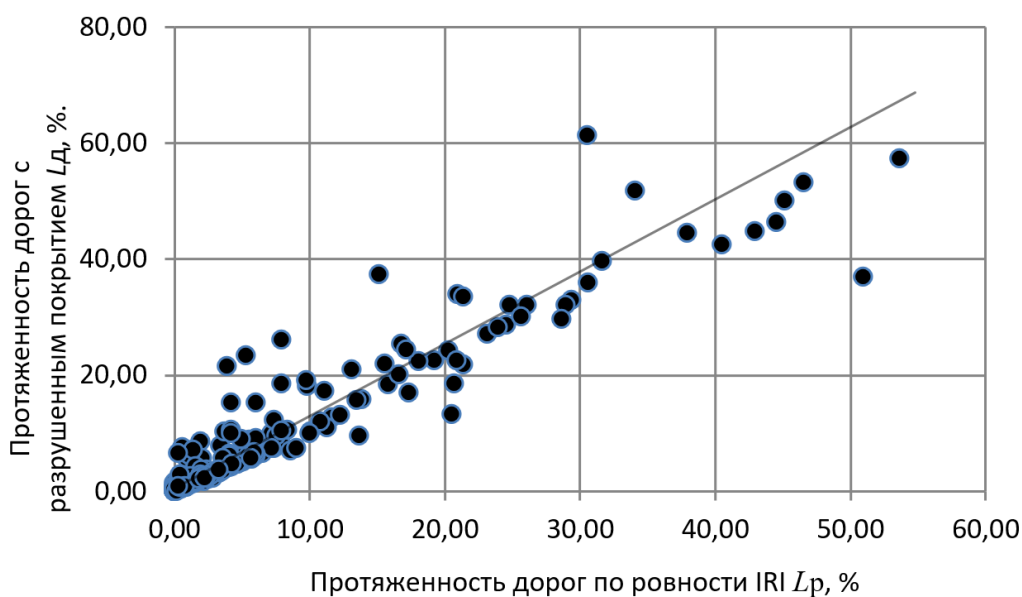


Рис. 2 – Зависимость протяженности дорог с разрушенным покрытием L_d от протяженности с показателем ровности IRI более допустимого

При этом среднее значение IRI линейным образом зависит от протяженности разрушенных участков дороги (рис. 3).

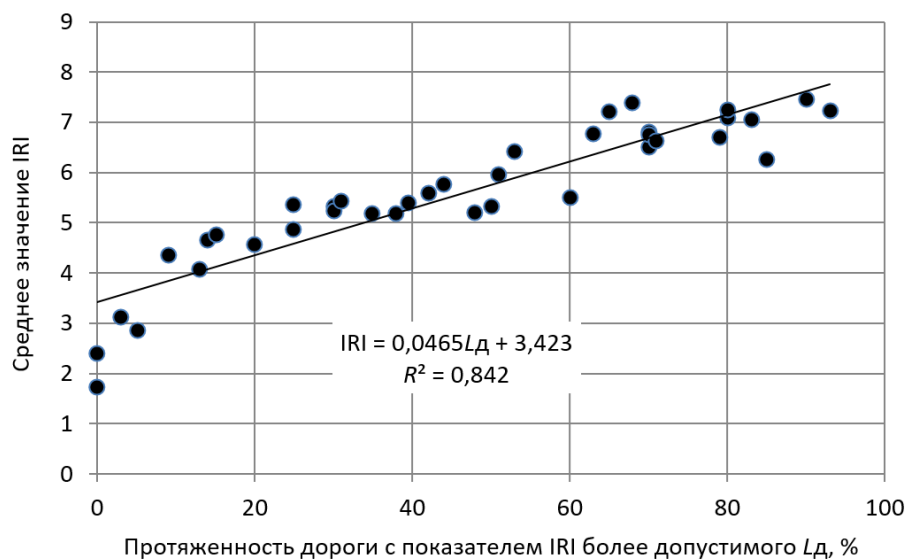


Рис. 3 – Зависимость среднего значения IRI от протяженности дорог с низкой ровностью

Для оценки надежности дорожной сети по состоянию проезжей части важно знать закон распределения показателя IRI. Подбор закона распределения IRI выполнен для 38 дорог протяженностью от 3,78 до 94,6 км со степенью износа 4 %, 30 %, 60 %, 93 %. Объем выборки по каждой дороге составил от 73 до 1893 измерений [10]. Исследования показали, для всех дорог показатель ровности распределяется по кривой Гаусса (рис. 4).

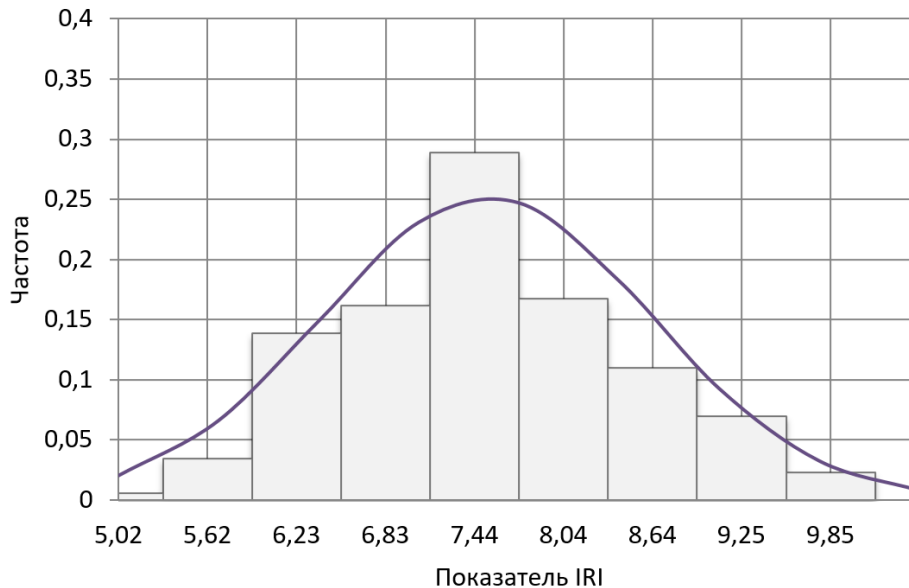


Рис. 4 – Распределение показателя ровности IRI на подъезде от автомобильной дороги «Самара – Пугачев – Энгельс – Волгоград» к с. Политотдельское – 8,84 км

Коэффициент вариации IRI зависит от протяженности дорог с показателем ровности более допустимого, описывается параболой (рис. 5). Наименьший разброс значений ровности ($C_v = 0,14 \dots 0,17$) наблюдается при минимальной и максимальной протяженности дорог с низкой ровностью. Наибольшая неоднородность состояния проезжей части по ровности наблюдается при износе от 38 до 60 %, когда наряду с разрушенными, имеются и участки с хорошей ровностью.

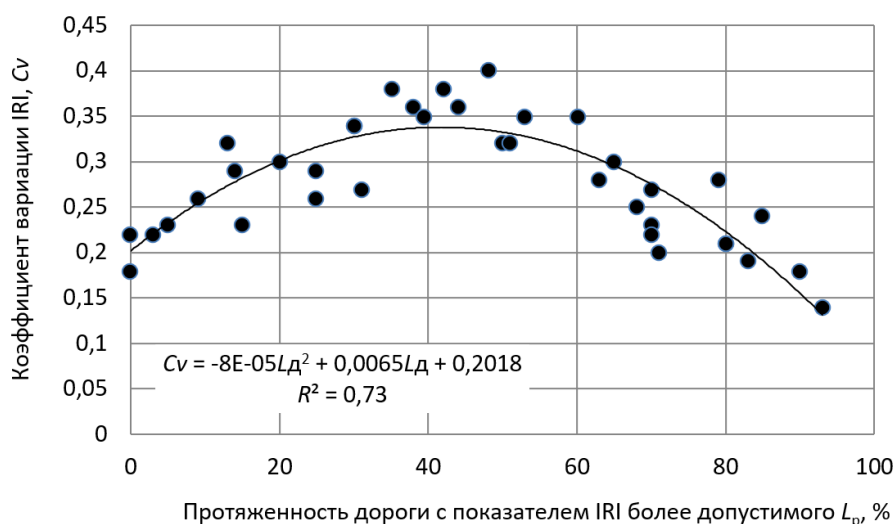


Рис. 5 – Зависимость коэффициента вариации показателя IRI от износа проезжей части

Заключение.

Выполненные исследования позволили сделать вывод о том, что дорожная сеть Волгоградской области на 64 % соответствует показателю продольной ровности IRI, на 83 % – по наличию недопустимых дефектов проезжей части. В целом по региону 61 % территориальных автомобильных дорог находится в нормативном состоянии.

Установлены зависимости протяженности разрушенных участков от протяженности с показателем ровности IRI, среднего значения IRI от протяженности разрушенных участков дороги, коэффициента вариации IRI от протяженности дорог с показателем ровности более допустимого значения.

Расчётный коэффициент корреляции (от 0,73 до 0,99) подтвердил достоверность выявленных закономерностей. Полученные результаты в дальнейшем позволят определить влияние показателя IRI на среднюю скорость транспортных потоков и показатели безопасности дорожного движения, разработать экономико-математическую модель оптимизации плана ремонта дорожного покрытия по восстановлению его ровности и шероховатости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Стрижевский, Д. А.** Исследование повышения безопасности дорожного движения путем учета индекса IRI и комплексного показателя транспортно-эксплуатационного состояния / Д. А. Стрижевский, А. В. Кочетков, Л. В. Янковский // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2014. – № 3(7). – С. 13-28.
2. **Могильный, К. В.** Международный индекс ровности дорожных покрытий и его использование в странах таможенного союза / К. В. Могильный, Н. А. Лушников, О. А. Красиков // Дороги и мосты. – 2013. – № 1(29). – С. 92-112.
3. **Красиков, О. А.** Обоснование упрощенного критерия в системе управления дорожными активами / О. А. Красиков, И. Н. Косенко, У. Ш. Касымов // Дороги и мосты. – 2018. – № 1(39). – С. 2.
4. **Васильев, А. П.** Справочная энциклопедия дорожника. Том 2. Ремонт и содержание автомобильных дорог. – М.: Информавтодор, 2004. – 1192 с.
5. **Кривко, Е. В.** Особенности планирования мероприятий по проведению дорожно-ремонтных работ / Е. В. Кривко, В. В. Базов // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. Международный сборник научных трудов. Хабаровск. – 2017. – Т. 17. – С. 161-167.

6. **Тиратурян, А. Н.** Оценка надежности дорожной одежды на стадии эксплуатации / А. Н. Тиратурян, А. А. Симакова, И. В. Бодров, М. В. Фарниева // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 4(47). – С. 196.
7. **Лушников, Н. А.** О взаимосвязи некоторых показателей продольной ровности дорожных покрытий / Н. А. Лушников, П. А. Лушников // Дороги и мосты. – 2018. – № 1(39). – С. 12.
8. **Гмурман, В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2005. – С. 479.
9. **Вентцель, Е. С.** Теория вероятностей и ее инженерное приложение / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. – С. 480
10. **Вентцель, Е. С.** Прикладные задачи теории вероятностей / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Радио и связь, 1983. – С.416.

Поступила в редакцию 29 октября 2019

ASSESSMENT OF ROAD NETWORK RELIABILITY BY CONDITION OF COATING

S. V. Aleksikov, M. I. Alshanova

Alshanova Marina Igorevna, graduate magistant, Department of Construction and Operation of Transport Facilities, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: +7(995)-401-55-66; e-mail: alshanova2014@yandex.ru

Aleksikov Sergey Vasilievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction and Operation of Transport Facilities, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: +7(969) 287-85-61; e-mail: al34rus@mail.ru

With all the variety of approaches to planning road repair work, there is no methodology for creating a road network repair plan based on the international IRI evenness indicator. Currently, large-scale diagnostics of the road network is being carried out in terms of longitudinal evenness and the presence of coating defects. The result of this diagnosis, in turn, is a significant array of reliable data convenient for further statistical analysis. The purpose of the statistical analysis was to assess the reliability of the road network by the state of coverage and to identify the laws of distribution of the IRI evenness indicator for roads with varying degrees of wear. The result of the studies was the functional dependencies: between the length of the destroyed sections on the length with the IRI evenness indicator, between the average IRI and the length of the destroyed road sections, between the IRI variation coefficient and the length of the roads with the evenness index more than the acceptable value. The established dependencies in the future will allow to determine the effect of the IRI indicator on the average speed of traffic flows and road safety indicators, to develop an economic and mathematical model for optimizing the road repair plan to restore its evenness and roughness.

Keywords: reliability; IRI; road repair planning; evenness; degree of wear.

REFERENCES

1. **Strizhevsky D. A., Kochetkov A. V., Yankovsky L. V.** *Study of improving road safety by taking into account the IRI index and the complex indicator of transport and operational status.* Technical regulation in transport construction. 2004. No. 3(7). Pp. 13-28. (in Russian)
2. **Mogilny K. V., Lushnikov N. A., Krasikov O. A.** *International road surface evenness index and its use in the countries of the customs Union.* Roads and bridges. 2013. No. 1(29). Pp. 92-112. (in Russian)
3. **Krasikov O. A., Kosenko I. N., Kasymov U. S.** *Justification of the simplified criterion in the road asset management system.* Roads and bridges. 2018. No. 1(33). Pp. 2. (in Russian)

4. **Vasiliev A. P.** *Reference encyclopedia of the road Builder. Repair and maintenance of roads.* Volume 2. Moscow, Informavtodor. 2004. 1192 p. (in Russian)
5. **Krivko E. V., Bazov V. V.** *Features of planning of actions for carrying out road repair works.* Far East. Highways and traffic safety. International collection of scientific papers. Khabarovsk. 2017. T. 17. Pp. 161-167. (in Russian)
6. **Tiraturyan A. N., Simakova A. A., Bodrov I. V.** *Assessment of the reliability of pavement at the operational stage.* Engineering Herald of the Don. 2017. No. 4(47). Pp. 196. (in Russian)
7. **Lushnikov N. A., Lushnikov P. A.** *On the relationship of some indicators of longitudinal evenness of pavements.* Roads and bridges. 2018. No. 1(39). Pp. 12. (in Russian)
8. **Gmurman V. E.** *Theory of Probability and Mathematical Statistics.* Moscow, High School. 2005. 479 p. (in Russian)
9. **Wentzel E. S., Ovcharov L. A.** *Probability theory and its engineering application.* Moscow, High School. 2000. 480 p. (in Russian)
10. **Ventzel E. S., Ovcharov L. A.** *Applied problems of probability theory.* Moscow, Radio and communications. 1983. 416 p. (in Russian)

Received 29 October 2019

Для цитирования:

Алексиков, С. В. Оценка надежности дорожной сети по состоянию покрытия / С. В. Алексиков, М. И. Альшанова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 92-97.

FOR CITATION:

Aleksikov S. V., Alshanova M. I. *Assessment of road network reliability by condition of coating.* Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 4(11). Pp. 92-97. (in Russian)

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА **ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION**

УДК 330.1

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

М. С. Магомедов

Магомедов Магомедгаджи Садритдинович, студент кафедры экономики и управления в строительстве, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (МГСУ), Москва, Российская Федерация, тел.: +7(495)287-49-19; e-mail: 22969@mail.ru

В статье рассмотрены основные проблемы, связанные с оценкой инвестиционных проектов. Поставлена задача изучения методов оценки инвестиционных проектов и выявления их преимуществ и недостатков, а также разработки рекомендаций по их применению. При проведении анализа методов оценки инвестиционных проектов приняты некоторые допущения, в том числе то, что каждый проект нуждается в индивидуальном подходе, так как имеет свою специфику и характеристику. Для достижения поставленной цели проанализированы методы оценки инвестиционных проектов такие, как дисконтирование денежных потоков; оценка условных требований; сравнительная оценка. В статье показана важность выбора метода оценки с учетом интересов определенных показателей, являющихся приоритетными для инвестора. Сформирован вывод о том, что анализ экономических и финансовых показателей проекта поможет инвестору спрогнозировать изменение денежных средств во времени, в случае вложения их в определенный актив.

Ключевые слова: анализ активов; оценка инвестиционных проектов; инвестиции; капитальные вложения; способы оценки активов.

В сегодняшние рыночные отношения как никогда актуальна оценка инвестиционных проектов. Действительно стоящие проекты, которые нуждаются в инвестировании, могут получить необходимые денежные средства, доказав свое право на существование и развитие путем получения экспертной оценки.

Для инвесторов это также является необходимым процессом для эффективного использования своего капитала. Анализ экономических и финансовых показателей проектов покажут инвесторам как могут измениться их денежные средства во времени, вложив их в определенный актив. Также, стоит понимать, что оценки активов бывают различные, инвестору стоит руководствоваться тем способом, который даст ему исчерпывающую информацию о том, что его действительно интересует.

Оценка инвестиционной стоимости проекта играет существенную роль в определении необходимого объема инвестиций. Вопросы вложения финансов в долгосрочные материальные активы, должны получать обоснованные и структурированные ответы по следующим причинам:

- ✓ инвестиционные решения имеют длительный период реализации и должны идти в одном направлении с основной стратегией фирмы;
- ✓ высокий уровень оттоков финансовых средств;
- ✓ необратимость вложенных средств с определенного момента;
- ✓ наличие прогнозов будущих выгод и затрат [1, 2].

Из этих причин следует, что принятие инвестиционных решений предполагает высокую ответственность, что объясняет значимость экономического анализа проекта. Перед тем, как развернуть полноценный анализ, проводится предварительный анализ, позволяю-

ший получить ответы на главные вопросы, при этом не вкладывая крупные денежные средства. Данный анализ проводится на макро- и микроэкономических уровнях. После проведения предварительного анализа решается вопрос развития инвестиционного проекта [3, 4].

Общепринятым является, что инвестиционный проект – это совокупность последовательных и взаимосвязанных мероприятий, главной целью которых является достижение стратегической цели (реализации инвестиционного проекта), при ограниченных ресурсах – время, финансы, информация и т. д.

Проектный анализ – методология, позволяющая анализировать различные показатели финансов инвестиционного проекта, вариации различных путей учета ресурсов для более объективной их оценки и эффективного использования.

При оценке инвестиционного проекта, необходимо объективно проанализировать ряд параметров. Часто используется метод дискретного распределения, который позволяет переводить результаты анализа в модель [2].

Основными элементами функции стоимости инвестиционного проекта являются: размер инвестиций, поток денежных средств, продолжительность проекта и ставка дисконтирования [3, 5].

Важным элементом, характеризующим инвестиционный проект, являются денежные потоки. Изучение тенденций чистых притоков и оттоков, а также их динамики характеризуют проект с точки зрения его экономической эффективности.

Обычно анализ проводится по годам, это объясняется тем, что в годовом выражении легче наблюдать за развитием инвестиционного проекта из-за необходимости сопоставлять результаты деятельности с макроэкономическими показателями (уровень инфляции, процентная ставка кредита и т. д.). Но это ограничение не является обязательным, аналитики вправе проводить анализ с разной периодичностью (месяц, квартал, год) [3, 6, 7].

В мировой практике существует огромное количество моделей оценки инвестиционных проектов. Модели имеют свои предположения и алгоритмы изучения предмета, однако все они имеют общие черты, которые можно сгруппировать, тем самым сформировать несколько широких категорий [8, 9].

Классификация моделей позволяет определить место того или иного метода моделирования в общей массе, понять его достоинства и недостатки в процессе его использования и скорректировать при необходимости.

Рассмотрим следующие способы оценки инвестиционных проектов:

- ✓ Дисконтирование денежных потоков.
- ✓ Оценка условных требований.
- ✓ Сравнительная оценка.

Дисконтирование денежных потоков.

Для точного прогноза будущих денежных поступлений необходимо проанализировать структуру стоимости актива и дать оценку. Сложность этой операции заключается в том, что это можно сделать различными способами, и, чаще всего, стоимость актива определяет независимый аналитик, и на основе его оценки составляется модель ожидаемых денежных потоков и определяется ставка дисконтирования [8, 10...12].

Денежные потоки могут выражаться в различных формах: в виде дивидендов (акции), купонов (проценты), прибыли от реализации проектов и т. д. Показателем, характеризующий риск ожидаемых денежных потоков, будет являться ставка дисконтирования. И чем больше ставка дисконтирования, тем рискованней активы, тем самым пониженная ставка свидетельствует о безопасности проекта. Обобщенная формула оценки инвестиционного проекта путем дисконтирования денежного потока (V_t) определяется по формуле:

$$V_t = \sum_{k=1}^{k=n} CF_k / (1 + r)^k, \quad (1)$$

где CF_k – ожидаемый будущий денежный поток в k -м периоде (возвратный поток Cash Flow); r – ставка дисконтирования (или норма доходности).

В формуле (1) обозначены сумма денежных поступлений за определенное время и норма дисконта, исходя из чего получаем стоимость вложений [13...15].

Данный метод имеет ограниченное применение:

- ✓ интервалы элементов возвратных потоков CF должны быть равными;
- ✓ значения элементов возвратного потока не должны меняться хаотично;
- ✓ метод используют только в условиях равновесного рынка по данному активу, когда его текущая рыночная цена (P_m) равна внутренней стоимостью (V_t), т.е. $V_t = P_m$.

Классификация моделей оценки дисконтированных денежных потоков.

Существует огромное множество используемых моделей оценки инвестиционных проектов. В зависимости от сферы использования, компании применяют ту или иную модель, которая удовлетворяет их требования в оценке. Однако, необходимо обратить внимание на то, что несмотря на такой богатый выбор моделей, фундаментальных отличий у них нет, лишь некоторые параметры.

Способы оценки дисконтированных денежных потоков чаще всего отличаются степенью охвата анализируемого объекта. Так, например, существует три способа: первый из которых позволяет оценить стоимость собственных активов компании, второй оценивает активы компании в целом, то есть помимо собственных активов в оценку включается стоимость претензий к компании в виде ценных бумаг. Третий способ подразумевает оценку основных операций и суммы долгов, не относящихся к ценным бумагам. Несмотря на то, что все три способа дисконтируют ожидаемые денежные потоки, такие показатели, как величина денежных потоков и ставка дисконтирования будут различаться, исходя из выбора используемого способа.

Оценивая стоимость актива, необходимо дисконтировать денежный доход, получаемый имеющимся капиталом, по ставке дисконтирования, который равен коэффициенту стоимости использования собственного капитала (иными словами нормы прибыли, которую хотят получить дольщики компании):

$$FV_t = \sum_{t=0}^{t=n} PV / (1 + r)^t, \quad (2)$$

где FV_t – будущая стоимость через t лет; PV – денежные поступления, приходящие на собственный капитал; r – стоимость использования капитала фирмы; t – срок дисконтирования.

Оценка стоимости фирмы рассчитывается дисконтированием ожидаемых денежных потоков фирмы (чистая прибыль до выплат держателям акций и облигаций) по средней стоимости использованного привлеченного капитала:

$$FV_n = \sum_{t=0}^{t=n} PV_t / (1 + WACC)^t, \quad (3)$$

где FV_t – будущая стоимость через t лет; PV_t – денежный поток фирмы (чистая прибыль до выплат держателям акций и облигаций); t – срок дисконтирования; $WACC$ – модель средневзвешенной стоимости капитала организации, определяется как сумма стоимости заемных средств, умноженная на их долю в структуре всего капитала, и стоимости собственных средств, умноженная на долю в структуре капитала:

$$WACC = \sum k(j) \times d(j), \quad (4)$$

где $k(j)$ стоимость (в %) j -го источника средств; $d(j)$ удельный вес (в долях) j -го источника средств.

Подход скорректированной приведенной стоимости состоит из отдельных оценок. Начинается все с оценки имеющегося собственного капитала фирмы, условно обозначая, что финансирование ведется исключительно за счет собственного капитала. После рассчитывается стоимость с учетом суммы долгов, оценивая приведенную стоимость выигрышей на налогах, которые возникают по причине имеющихся долгов, также оценивается стоимость банкротства.

Оценка условных требований.

Относительно недавно аналитики, оценивающие стоимость фирм, пришли к тому, что бывают фирмы, для которых оценка актива дисконтированием гораздо ниже ее реальной

стоимости. Подобное характерно для активов, находящихся в прямой зависимости от определенных событий [16, 17].

Решением данной проблемы стало использование метода оценки актива моделью ценообразования опциона. Несмотря на то, что эти модели были пригодны для оценки стоимости опционов, при небольшой корректировке они стали актуальными для оценки активов, чья стоимость зависит от будущего потенциала.

Большинство аналитиков считают, что патенты, или неиспользуемые природные ресурсы, такие как нефть, цветные металлы и т. д. являются видом опциона, исходя из чего следует их также учитывать при анализе – это позволит более объективно оценить активы фирм.

Условное требование является договором, дающим право на покупку или продажу, согласно которому производится выплата в следующих случаях: в случае падения стоимости актива на определенное значение от базовой стоимости (опцион покупателя), или же роста стоимости на определенное значение от базовой цены актива (опцион продавца).

Если выплата определена главным критерием в формировании стоимости базового актива, то это позволяет оценить актив аналогично опциону. Примером является имеющаяся у фирмы патенты, которые пока не используются, но в случае активизации в производство в разы увеличивают стоимость фирмы – это будет являться опционом покупателя. Здесь прослеживается четкая тенденция роста стоимости актива при наступлении события (начала использования патента).

В случае же опциона продавца можно привести следующий пример: допустим, фирма занимается добычей цветных металлов, и на имеющихся территориях истощаются запасы добываемого ресурса. При наступлении определенного события стоимость активов резко понизится.

Данный вид оценки активов очень актуален в некоторых отраслях, но его нельзя применять везде, лишь в тех случаях, где фирмы зависят от конкретных событий, которые напрямую влияют на денежные потоки фирмы.

Сравнительная оценка.

Одним из популярных способов оценки активов является их сравнительный анализ. Он заключается в изучении структуры стоимости различных активов, сравнивая один и тот же показатель, взятый как приоритетный (прибыль, выручка, величина налогов в структуре денежных потоков и т. д.) [18...22].

Оценка проводится с использованием мультипликаторов. Например, часто задаваемым мультипликатором является соотношение «цена / прибыль». В оценке мультипликаторов разных фирм стоит учитывать, что не существует одинаковых фирм, но при этом делается допущение, что фирмы сопоставимы, и что на рынке определена корректная стоимость активов.

Одним из показательных мультипликаторов является соотношение «цена / балансовая стоимость». Он позволяет определить степень недооцененности или переоцененности. Существует огромное количество вариаций мультипликаторов, в зависимости от того, что является приоритетным в оценке инвестиционного проекта, делается упор на тот или иной показатель мультипликатора.

Главным отличием в определении стоимости через сравнение является опора на рыночные цены. В данном подходе лежит гипотеза, что все фирмы на рынке оценены корректно, и что цена акции также соответствует рыночной стоимости. Сравнительная оценка допускает ошибки рынка на отдельные акции и делает предположение, что, сравнивая показатели мультипликатора, можно найти ошибки рынка, тем самым исключить их или свести к минимуму.

Помимо теоретических способов оценки стоит принимать к учету такие детали, как стоимость бренда, стоимость рабочего потенциала (квалификации), перспективы дальнейших разработок и т. д.

Следует отметить, что эти показатели тяжело поддаются оценке, только лишь опыт аналитика позволяет понять, какова приблизительная стоимость данных показателей.

Стоимость бренда сегодня играет важную роль, так как он определяет величину доверия со стороны потребителя, величину склонности покупки товара или услуги именно этой фирмы, доверие со стороны банков, инвесторов и т. д.

Стоимость рабочего персонала стала актуальной лишь недавно. Стоимость работников заключается в уровне их квалификации, навыках, способностях, благодаря которым они выполняют те сложные задачи, которые увеличивают стоимость фирмы.

Большое внимание сегодня уделяется инвестированию в человеческий капитал, что безусловно побуждает к оценке результатов данного фактора. Но пока нет точных моделей, позволяющих объективно оценить человеческие ресурсы, хотя есть попытки сделать это [20].

Также, некоторые аналитики при оценке фирмы учитывают разработки фирмы на ближайшие годы. Это отражается в стоимости акций компании при заявлении руководства о начале разработки какого-либо проекта – акции данной компании начинают расти.

Сложность определения рыночной стоимости осложняется еще тем, что компаниям тяжело проводить макроэкономические анализы рынка из-за низкого уровня объема публичной и достоверной информации о других компаниях. Очень затруднительно узнать количество сделок купли-продажи, а также заключительной стоимости контрактов. Из-за большого количества недостоверной информации инвесторы также делают большие ошибки при финансировании, инвестировании или покупке какого-либо проекта, часто переплачивая из-за незнания истинной стоимости актива.

Заключение.

Установлено, что определяющим критерием при выборе подхода к оценке инвестиционного проекта должны быть цели и приоритетные для инвестора показатели.

В случае, если приоритетом инвестора является только операционная выручка и объем продаж, то достаточно будет провести сравнительный анализ.

Если инвестор хочет вложить средства в проект, который имеет потенциал перспективного роста, но до определенного момента вынужден ждать, то будет разумно воспользоваться подходом условных требований.

При необходимости тотального анализа всех финансовых и экономических показателей инвестиционного проекта (например, для вложения средств в долгосрочные проекты) целесообразно использовать метод дисконтирования денежных потоков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Васюхин, О. В.** Экономическая оценка инвестиций: учебно-методическое пособие / О. В. Васюхин, Е. А. Павлова. – СПб: СПб НИУ ИТМО, 2013. – 30 с.
2. **Непомнящий, Е. Г.** Экономическая оценка инвестиций / Е. Г. Непомнящий. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2017. – 292 с.
3. **Теплова, Т. В.** Инвестиции: теория и практика: учебник для бакалавров / Т. В. Теплова. – М.: Юрайт, 2014. – 782 с.
4. **Герасимова, Л. Н.** Особенности формирования финансовых ресурсов в страховых компаниях / Л. Н. Герасимова, А. В. Иванникова // Аудит и финансовый анализ. – 2014. – С. 289-293.
5. **Малых, Н. И.** Лизинг как форма финансирования инвестиционных проектов и его учет в соответствии с международными стандартами финансовой отчетности / Н. И. Малых // Аудит и финансовый анализ. – 2015. – № 2. – С. 240-245.
6. **Лимитовский, М. А.** Инвестиционные проекты и реальные опционы на развивающихся рынках / М. А. Лимитовский. – М.: Юрайт, 2018. – 280 с.

7. **Герасимова, Л. Н.** Учет хеджирования производственной деятельности / Л. Н. Герасимова, Е. А. Середюк // Аудит и финансовый анализ. – 2012. – № 4. – С. 51-56.
8. **Герасимова, Л. Н.** Современные тенденции **формирования** консолидированной отчетности группы компаний / Л. Н. Герасимова // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2014. – № 13(199). – С. 11-12.
9. **Porter, M. E.** Clusters and the New Economics of Competition / M. E. Porter // Harvard Business Review. – 1988. – Pp. 77-90.
10. **Хмельницкая, О. Н.** Методические подходы к составлению комбинированной отчетности кластера / О. Н. Хмельницкая // Актуальные вопросы экономических наук. – 2015. – № 43. – С. 141-146.
11. **Кононов, В. Н.** Адаптация методики составления отчетности консолидированных групп для бизнес-кластеров и ее использование в оценке экономической эффективности их деятельности / В. Н. Кононов, С. С. Быков, В. Л. Ижевский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2016. – Т. 10. – № 3. – С. 7-17.
12. **Герасимова, Л. Н.** Совершенствование учета финансовых инструментов как направление развития инфраструктуры экономического роста / Л. Н. Герасимова, Е. А. Середюк // Аудит и финансовый анализ. – 2011. – № 4. – С. 41-47.
13. **Панкова, С. В.** Развитие учетно-методического обеспечения экспресс-анализа деятельности организации: монография / С. В. Панкова, Л. В. Пасечникова, О. В. Киселева. – Оренбург: ОГУ, 2018. – 254 с.
14. **Теплова, Т. В.** Влияние дивидендных выплат на рыночную оценку российских компаний: эмпирическое исследование методом событийного анализа на российских и зарубежных торговых площадках / Т. В. Теплова // Аудит и финансовый анализ. – 2008. – № 2. – С. 9-13.
15. **Герасимова, Л. Н.** Учетный механизм формирования резерва под предстоящие отпуска работников / Л. Н. Герасимова, Е. Р. Чернышева // Инновационное развитие экономики. – 2013. – № 1(13). – С. 153-159.
16. **Герасимова, Л. Н.** Внутренний контроль дебиторской задолженности в организациях / Л. Н. Герасимова // Актуальные вопросы современной экономики. – 2014. – № 2. – С. 88-97.
17. **Актуальные** проблемы аналитического обеспечения управленческих решений: монография / под ред. В.И. Бариленко. – М.: Финансовый университет, 2010. – 136 с.
18. **Бернштейн, Л. А.** Анализ финансовой отчетности: теория, практика и интерпретация / Л. А. Бернштейн. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 624 с.
19. **Герасимова, Л. Н.** Современные пути снижения транзакционных издержек промышленных организаций / Л. Н. Герасимова // Инновационное развитие экономики. – 2014. – № 1(18). – С. 103-105.
20. **Ивашковская, И. В.** Эмпирический анализ российских компаний (корпоративные финансовые решения на развивающихся рынках капитала): монография / И. В. Ивашковская, С. А. Григорьева, М. С. Кокорева. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 281 с.
21. **Герасимова, Л. Н.** Особенности формирования отчетных сегментов и сегментарной отчетности / Л. Н. Герасимова // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2014 (февраль). – № 8(194). – С. 20-25.
22. **Ковалев, В. В.** Финансовый анализ. Методы и процедуры: монография / В. В. Ковалев. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 560 с.

Поступила в редакцию 23 октября 2019

FEATURES OF EVALUATION OF INVESTMENT PROJECTS

M. S. Magomedov

Magomedgadzhil Magomedov Sadridinovich, student, Department of Economics and management in construction, National research Moscow state University of civil engineering (MGSU), Moscow, Russian Federation, phone: +7(495)287-49-19; e-mail: 22969@mail.ru

The article deals with the main problems associated with the evaluation of investment projects. The task is to study the methods of evaluation of investment projects and identify their advantages and disadvantages, as well as to analyze for which projects they can be applied. When analyzing the methods of evaluation of investment projects, some assumptions are made, including the fact that each project needs an individual approach, since it has its own specifics and characteristics. To achieve this goal, the methods of evaluation of investment projects such as discounting cash flows are analyzed; assessment of conditional requirements; comparative assessment. The article shows the importance of the chosen method on the basis that the assessment should be exactly what the investor needs – to focus on the study of certain indicators that are priority for the investor. The conclusion is formed that the analysis of economic and financial indicators of the project will show the investor how their money can change over time, investing them in a certain asset.

Keywords: asset analysis; evaluation of investment projects; investments; capital investments; methods of asset evaluation.

REFERENCES

1. **Vasyukhin O. V., Pavlova E. A.** *Economic assessment of investments*. St. Petersburg, SPb NIU ITMO. 2015. 30 p. (in Russian)
2. **Nepomnyashchy E. G.** *Economic assessment of investments*. Taganrog, TRTU Publishing house. 2017. 292 p. (in Russian)
3. **Teplova T. V.** *Investments: theory and practice*. Moscow, Yurayt. 2014. 782 p. (in Russian)
4. **Gerasimova L. N., Ivannikova A. V.** *Features of formation of financial resources in insurance companies*. Audit and financial analysis. 2014. Pp. 289-293. (in Russian)
5. **Malykh N. I.** *Leasing as a form of financing investment projects and its accounting in accordance with international financial reporting standards*. Audit and financial analysis. 2015. N 2. Pp. 240-245. (in Russian)
6. **Limitovsky M. A.** *Investment projects and real options in emerging markets*. Moscow, Yurayt. 2018. 280 p. (in Russian)
7. **Gerasimova L. N., Seredyuk E. A.** *Accounting of hedging of production activity*. Audit and financial analysis. 2012. No. 4. Pp. 51-56. (in Russian)
8. **Gerasimova L. N.** *Modern trends in the formation of consolidated statements of the group of companies*. Financial Analytics: problems and solutions. 2014. No. 13(199). Pp. 11-12. (in Russian)
9. **Porter M. E.** *Clusters and the New Economics of Competition*. Harvard Business Review. 1988. Pp. 77-90.
10. **Khmelnitskaya O. N.** *Methodological approaches to the compilation of combined cluster reporting*. Actual issues of economic Sciences. 2015. No. 43. Pp. 141-146. (in Russian)
11. **Kononov V. N., Brykov S. S., Izhevsky V. L.** *Adaptation of the reporting methodology of consolidated groups for business clusters and its use in assessing the economic efficiency of their activities*. Vestnik SUSU, Economics and management. 2016. T. 10. No. 3. Pp. 7-17. (in Russian)
12. **Gerasimova L. N., Seredyuk E. A.** *Improvement of accounting of financial instruments as a direction of development of infrastructure of economic growth*. Audit and financial analysis. 2011. No. 4. Pp. 41-47. (in Russian)

13. **Pankova S. V., Pasechnikova L. V., Kiseleva O. V.** *Development of accounting and methodological support of Express analysis of the organization*. Monograph. Orenburg, OSU. 2018. 254 p. (in Russian)
14. **Teplova T. V.** *The impact of dividend payments on the market valuation of Russian companies: an empirical study by the method of event analysis on Russian and foreign trading platforms*. Audit and financial analysis. 2008. No. 2. Pp. 9-13. (in Russian)
15. **Gerasimova L. N., Chernysheva E. R.** *Accounting mechanism of forming a reserve for the upcoming vacation of workers*. Innovative development of the economy. 2013. No. 1(13). Pp. 153-159. (in Russian)
16. **Gerasimova L. N.** *Internal control of accounts receivable in organizations*. Actual issues of modern economy. 2014. No. 2. Pp. 88-97. (in Russian)
17. **Barilenko V. I.** *Actual problems of analytical support of management decisions*. Monograph. Moscow, Financial University. 2010. 136 p. (in Russian)
18. **Bernstein L. A.** *Analysis of financial statements: theory, practice and interpretation*. Moscow, Finance and statistics. 2002. 624 p. (in Russian)
19. **Gerasimova L. N.** *Modern ways of reducing transaction costs of industrial organizations*. Innovative development of the economy. 2014. No. 1(18). Pp. 103-105. (in Russian)
20. **Ivashkovskaya I. V., Grigorieva S. A., Kokoreva M. S., Stepanova A. N.** *Empirical analysis of Russian companies (corporate financial solutions in emerging capital markets)*. Monograph. Moscow, INFRA-M. 2012. 281 p. (in Russian)
21. **Gerasimova L. N.** *Features of formation of reporting segments and segmental reporting*. Financial Analytics: problems and solutions. 2014 (February). No. 8(194). Pp. 20-25. (in Russian)
22. **Kovalev V. V.** *The Financial analysis. Methods and procedures*. Monograph. Moscow, Finance and statistics. 2005. 560 p. (in Russian)

Received 23 October 2019

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Магомедов, М. С. Особенности оценки инвестиционных проектов / М. С. Магомедов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 98-105.

FOR CITATION:

Magomedov M. S. *Features of evaluation of investment projects*. Housing and utilities infrastructure. 2019. No. 4(11). Pp. 98-105. (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. Статьи в журнале публикуются бесплатно.

Осуществляется подписка на журнал «Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура». Подписной индекс в каталоге агентства «Роспечать» – 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**](mailto: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).

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:

русская язычная 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



19 >

9 772541 911046